

23 mars 2005  
13 :25 à 15 :00

## Session 7 : Transfert thermique / massique

Modératrice : A. St-Yves

## ***Solid penetration trend investigation during osmotic dehydration equilibration***

Heping Li<sup>1</sup> and Hosahalli Ramaswamy<sup>2</sup>

Department of Food Science and Agricultural Chemistry,  
Macdonald Campus, McGill University, Ste Anne de Bellevue, Quebec, H9X 3V9, Canada.

Heping Li<sup>1</sup> <[hli23@po-box.mcgill.ca](mailto:hli23@po-box.mcgill.ca)>  
Hosahalli Ramaswamy<sup>2</sup> <[hosahalli.ramaswamy@mcgill.ca](mailto:hosahalli.ramaswamy@mcgill.ca)>

Address correspondence to: Dr. Hosahalli Ramaswamy

### **ABSTRACT**

Osmotic drying is a partial drying accomplished by treatment of test products in an osmotic solution such as sugar syrup. It has been generally credited with offering quality advantages to the final product. Modeling of the mass transfer phenomenon is necessary to optimize osmotic dehydration processes to have high product quality at minimum energy costs. To explain the simultaneous mass-flow in an osmo-dehydration process, evaluation of equilibrium kinetics is important. True equilibrium process is difficult to achieve (a process that may take as many as 60 days); hence, generally a pseudo-equilibrium process is employed. The solid gain penetration trend during osmotic dehydration of apple cylinders at 50°C 50°Brix from 15 minutes to 48 hours were evaluated in this study. Histology anatomy technique was used to study the sample tissue and cell structure change related to the solid penetration during the process. It was observed that for the apple cylinders where the internal cells remained less altered throughout equilibration whereas in the more external zone, the cell structure was affected by the process. This explains the limits and distribution of solids accumulation inside the sample during the equilibration.

## ***The particle movement effect on the heat transfer to particle for canned particulate/liquid foods subjected to end-over-end processing***

Yang Meng<sup>1</sup> and H.S. Ramaswamy<sup>2</sup>

Department of Food Science and Agricultural Chemistry,  
Macdonald Campus, McGill University, Ste Anne de Bellevue, Quebec, H9X 3V9, Canada.

Yang Meng<sup>1</sup> <ymeng5@po-box.mcgill.ca >  
Hosahalli Ramaswamy<sup>2</sup> <hosahalli.ramaswamy@mcgill.ca>

Address correspondence to: Dr. Hosahalli Ramaswamy

### **ABSTRACT**

In thermal processing, heat penetration data are essential for the processing design and optimization. For canned particulate/liquid foods, fluid to particle heat transfer coefficient  $h_{fp}$  and overall heat transfer coefficient  $U$  can be used to predict the heat penetration data. By using a flexible thin wire thermocouple method to allow free particle motion in the can, the particle movement effect was studied during end-over-end rotation. Nylon particles were treated as food particle models. The associated heat transfer coefficients were measured for restricted and free particles respectively at different rotation speeds (from 6 rpm to 20 rpm), particle concentrations (from a single particle in the can to 40% by volume), and liquids (from water to high viscous CMC solutions). For high viscous fluids, where the calculation of fluid to particle heat transfer coefficient  $h_{fp}$  didn't work, the apparent heat transfer coefficient  $h_{ap}$  (heat transfer coefficient between retort heating medium and particle surface) was evaluated. With the retort door held in an open position and the transparent can container subjected to end-over-end rotation, the particle flow pattern in the can was observed and videotaped.

Significant differences ( $p < 0.05$ ) were found between restricted and free particles. Generally,  $h_{fp}$  and  $h_{ap}$  values for restricted particles were larger than those for free particles, which implied that the particle lethality predicted with  $h_{fp}/h_{ap}$  obtained from the restricted particle was overestimated. And the differences varied with operating conditions. The flow visualization study revealed that the free particle moved along with the fluid flow, which could decrease the relative movement between the particle and the fluid and give a lower heat transfer coefficient.

## ***Compression heating behavior of milk under high pressure***

Yanwen Shao<sup>1</sup>, Songming Zhu<sup>2</sup> and H.S. Ramaswamy<sup>3</sup>

Department of Food Science and Agricultural Chemistry,  
Macdonald Campus, McGill University, Ste Anne de Bellevue, Quebec, H9X 3V9, Canada.

Yanwen Shao<sup>1</sup> <[yshao2@po-box.mcgill.ca](mailto:yshao2@po-box.mcgill.ca)>

Songming Zhu<sup>2</sup> <[songming.zhu@mail.mcgill.ca](mailto:songming.zhu@mail.mcgill.ca)>

Hosahalli Ramaswamy<sup>3</sup> <[hosahalli.ramaswamy@mcgill.ca](mailto:hosahalli.ramaswamy@mcgill.ca)>

**Address correspondence to: Dr. Hosahalli Ramaswamy**

### **ABSTRACT**

Compression heating results in an adiabatic temperature during high pressure treatment. From food processing point of view, the adiabatic heating can contribute to destruction of microorganisms and inactivation of enzymes. Understanding compression heating and temperature variation in the system is important for research and development of high pressure sterilization of low acid foodstuffs. The objectives of this study were: (1) to evaluate compression heating during pressurization; (2) to investigate temperature change during pressure holding period. Experiments were conducted in a high pressure system (ACB 9000) which had a circulating bath water to control temperature. Test sample (milk) packed in a polypropylene tube was insulated and located at the center of the vessel. Thermocouples were used to monitor temperatures of sample and medium.

Adiabatic temperature rise increased with an increase in pressure level and initial temperature.  $\Delta T$  (temperature rise) was 24.7, 32.6, 39.1 and 16.9, 23, 28.4 °C at 500, 700, 900 MPa and at 80 and 20°C, respectively. In general temperature of sample, medium inside insulator and medium inside the vessel decreased during pressure holding. The temperature of sample, medium inside insulator were almost the same and decreased much slowly as compared with temperature of the pressure medium. At 900MPa, 80°C initial temperature, the temperature drop after pressurization was 2.9°C in the sample and 18.9°C vessel medium temperature after 5 min holding.

## ***Comparison of heat transfer rates as influenced by modes of rotation, and system and product parameters during agitation processing***

Mritunjay Dwivedi<sup>1</sup> Yang Meng<sup>2</sup> and H.S. Ramaswamy<sup>3</sup>

Department of Food Science and Agricultural Chemistry, Macdonald Campus, McGill University, Ste Anne de Bellevue, Quebec, H9X 3V9, Canada.

Mritunjay Dwivedi<sup>1</sup> <mritunjaydwivedi@hotmail.com>

Yang Meng<sup>2</sup> <ymeng5@po-box.mcgill.ca>

Hosahalli Ramaswamy<sup>3</sup> <hosahalli.ramaswamy@mcgill.ca>

**Address correspondence to: Dr. Hosahalli Ramaswamy**

### **ABSTRACT**

The successful establishment of thermal processes of canned foods is based on a sound knowledge of thermobactriology and understanding of mechanism of heat transfer. Mechanical agitation is frequently used to enhance heat transfer, by increasing the rate of heat transfer into the product being processed. Common types of agitation are end-over-end rotation and axial agitation. Axial agitation is frequently used in continuous systems while the end-over-end agitation is mostly used in batch systems. The heat transfer coefficients ( $U$  and  $h_{fp}$ ), associated with canned liquid/particle mixtures, were evaluated with suspended nylon particles, during end-over-end and axial rotation. Can rotation speed (0, 10 and 20 rpm), heating medium temperatures (110 and 121°C), and nylon particle diameter 25 mm were studied using non Newtonian and Newtonian liquids at two different viscosities. Newtonian fluids used were water and glycerine, whereas non Newtonian fluids were used as CMC solution at two different viscosities. Higher heat transfer coefficients ( $U$  and  $h_{fp}$ ) were obtained with increasing value of rotational speed and retort temperatures, both reduced with an increase in viscosity of liquid. Differences were observed in the heat transfer rates between the two modes of rotation.

## ***A computer model to establish cooking-cooling cycles for processed meat and poultry products***

Cui ren Chen and Michèle Marcotte

Food Research and Development Centre,  
Agriculture and Agri-Food Canada, Saint-Hyacinthe, Québec, J2S

### **ABSTRACT:**

It is common knowledge that the way meat and poultry cooking is presently established (i.e. the product core temperature be at least equal to a determined legal standard, generally 70°C) is scientifically flawed. A user-friendly mathematical model was developed to simulate a large number of cooking-cooling cycles with respect to their respective product safety. The model takes into account a variety of factors, including characteristics of the cooking process, such as constant and ramping temperature profile (ascending, descending and delta temperature), and product characteristics, such as diameter, length and thermophysical properties ( $C_p$ ,  $k$  and  $\rho$ ).  $D$  and  $z$  values of various pathogenic microorganisms (*Escherichia coli*, *Salmonella typhi*, *Enterococcus faecalis*, *Listeria monocytogenes*) are used as inputs to calculate the destruction of microorganisms during both heating and cooling. The model also factors in the possible growth of microorganisms that can occur early during the cooking cycle. Given a smokehouse (hot humid air) or an autoclave (full steam, water immersion or spray) temperature profile, the product core temperature is predicted and used to calculate the process lethality or time. The model was validated experimentally using traditional cooking of typical bologna sausages performed at Agriculture and Agri-Food Canada's pilot plant in St. Hyacinthe. The model can be used by processors, and by regulatory agencies to identify a range of safe processes.

## ***Raspberry firmness and kinetics of water loss as affected by enzyme treatment or/and osmotic dehydration***

Michèle Marcotte, Dominique Maxime, Ali Taherian

Food Research and Development Centre,  
Agriculture and Agri-Food Canada, Saint-Hyacinthe, Québec, J2S 8E3

### **ABSTRACT :**

Fresh harvested raspberries are highly perishable and have a short harvesting season. They are traditionally processed into puree, jam, or frozen fruits. Raspberries are often combined with various sugar solutions to be sold as “fruit preparations” that will be further incorporated in complex food formulations (e.g. yoghurt, ice cream). Due to their fragility, they are easily damaged during mixing, processing and pumping operations and it is very difficult to find whole raspberries in processed products. Some enzymes (e.g. pectinesterases) can hydrolyze the methyl esterified galacturonic acid units of fruits pectin molecules that can further bridge themselves with the help of calcium ions to form a gel network within the fruits, rendering them firmer and more resistant to breakage. Osmotic dehydration is a liquid-solid contacting operation similar to the operation used in the making of fruit preparations. In this particular project, it is proposed to combine an enzymatic treatment to increase the raspberry firmness prior or during an osmotic dehydration step in order to make raspberries less sensible to any further processing operation thus preserving their integrity and structure. Two different brands of pectin methylesterases were tested. The effect of adding  $\text{CaCl}_2$  was also studied. Firmness measurements were determined by a back extrusion test using a TA-XT2 analyzer. The water content was evaluated by Karl Fischer titration. The addition of  $\text{CaCl}_2$  did not affect the water content but texture measurements and visual observations confirmed that it was beneficial for increasing the firmness of raspberries. The combination of enzymatic treatment and osmotic dehydration whether used separately or combined resulted to a reduced water loss for a similar treatment time. Gelification is extremely rapid and occurs during the first few minutes of contact between the fruit pectins and the enzyme. This gel network hinders significantly the water transfer between raspberries and the solution.





23 mars 2005  
13 :25 à 15 :00

## Session 8 : Traitements électromagnétiques

Modératrice : V. Orsat, ABE

## *CEP / Aspects énergétiques et économiques*

Jean Carignan<sup>1</sup>, Sylvain Marchand<sup>1</sup>, Sasithorn Tajchakavit<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire des Technologies de l'Énergie d'Hydro-Québec

<sup>2</sup>A. Lassonde Inc.

### SOMMAIRE:

La technologie des champs électriques pulsés (CEP) a fait l'objet de plusieurs articles scientifiques portant principalement sur les médiums pouvant être traités, les mécanismes de destruction de la membrane cellulaire et sur les résultats de décontamination. Cependant, peu d'articles ont traité de l'aspect énergétique et économique de cette technologie.

Le but de l'étude que nous proposons est de quantifier sommairement ces deux intrants forts importants dans un processus décisionnel visant à acquérir cette nouvelle technologie.

Afin d'atteindre nos objectifs, trois principales activités ont été réalisées. La première, qui a été faite en laboratoire, a eu pour objectif de déterminer la quantité d'énergie requise pour la décontamination d'un fluide alimentaire le rendant apte à la consommation. À cette fin, plusieurs essais ont été faits au LTE et ce avec un banc d'essais dédié au traitement des fluides alimentaires par CEP.

La deuxième activité, qui s'est tenue sur une ligne de production industrielle, avait pour objectif de déterminer la quantité d'énergie nécessaire à la pasteurisation du même fluide alimentaire. Un système d'acquisition de données a alors été utilisé afin de mesurer en temps réel tous les intrants nécessaires à l'établissement du bilan énergétique de la ligne de production. Ces données, jumelées à des tarifs énergétiques, ont aussi permis d'évaluer sommairement le coût de traitement du fluide alimentaire.

Finalement, la dernière activité a eu pour objectif, avec l'aide d'un manufacturier d'équipement, de déterminer le coût complet (acquisition, entretien, pièces de rechange, etc.) d'un équipement de traitement par CEP répondant aux besoins de la ligne de production sur laquelle ont été prises les mesures précédentes.

L'ensemble des intrants et des extrants de cette étude nous a de mieux mesurer l'impact énergétique et économique de cette technologie et ce face à un choix énergétique.

## ***Effect of pulsed electric field on protein denaturation and color of liquid egg products***

M. Amiali, M. O. Ngadi and G. V. S. Raghavan

Department of Bioresource Engineering, MacDonald Campus of McGill University, 21,111  
Lakeshore Road, Ste-anne-de-bellevue, Quebec, H9X3V9

### **Abstract**

Conventional thermal processing methods commonly used in the food industry to inactivate spoilage and pathogenic microorganisms reduce the nutritional and functional qualities of liquid egg products. Pulsed electric field (PEF) pasteurization technique may be used either to replace or supplement conventional processing of heat-sensitive products such as liquid egg whites. The objective of this study was to evaluate the effect of continuous PEF treatment on the thermal and physical properties of liquid egg products. Fresh liquid egg products namely whole egg, white and yolk were treated continuously at moderate temperature (30°C) using 30 kV/cm electric field intensity. Biphasic instant reversal PEF waveform with 2  $\mu$ s pulse width was used at the rate of 2 Hz. The number of pulses was up to 60 pulses. Proteins denaturation was characterized by their thermal behaviour using differential scanning calorimetry (DSC). Color change during treatment was evaluated by colorimeter using the Hunter colour scale values ( $L^*a^*b^*$ ).

Results showed that enthalpy  $\Delta H$  increased from 2.21 to 2.28 J/g and from 1.6 to 2.16 J/g for whole egg and egg white, respectively, whereas for egg yolk it decreased from 2.06 to 1.52 J/g. Scheffe multi-range test did not show any significant changes except for egg white where the enthalpy increased significantly after 30  $\mu$ s of treatment. However, for both liquid egg products, the temperatures of denaturation ( $T_d$ ) remained almost the same during the treatment. The  $L^*a^*b^*$  analysis revealed mixed results with respect to color change. Therefore, PEF treatment seems to offer higher quality products compared to thermal processing.

## *Séchage micro-onde et sous vide : ses avantages et désavantages*

Predrag S. Sunjka, Valérie Orsat et Vijaya G.S. Raghavan

Université McGill, Department of Bioresource Engineering,  
Sainte-Anne-de-Bellevue, Québec H9X 3V9

[<predrag.sunjka@mail.mcgill.ca>](mailto:predrag.sunjka@mail.mcgill.ca)

### SOMMAIRE:

Depuis longtemps, le séchage convectif est considéré comme courant principal du traitement industriel. Lors de cette présentation, une approche différente au séchage des matériaux biologiques sera présentée. La combinaison de basses pressions et de chauffage par micro-ondes offre quelques nouvelles perspectives pour le séchage, de même que quelques difficultés qui doivent être considérées. Ses impacts sur l'économie du processus, sur la durée du processus, sur les changements structuraux et chimiques, sur le choix des matériaux pouvant être séchés par cette méthode, sur ce qui doit être fait afin d'améliorer les problèmes connus, sur l'implantation industrielle, et sur l'équipement utilisé seront discutés.

### INTRODUCTION

Le séchage a toujours été un processus exigeant énergie et temps. Il a été étudié afin de réduire au minimum la durée du processus, le coût du processus, les incidences sur l'environnement, et d'augmenter la qualité du produit final. Au cours des dernières décennies, plusieurs tentatives ont été poursuivies afin d'améliorer la méthode "conventionnel" de séchage, séchage à air chaud. Une des méthodes les plus prometteuses est un séchage hybride utilisant des micro-ondes comme source d'énergie pouvant opérer à basse pression et facilitant l'enlèvement de l'humidité. Les micro-ondes ont de bonnes capacités pénétrantes, et sont recommandées dans le séchage de matériaux de haute valeur, comme des champignons, des matériaux biologiques et biopharmaceutiques sensibles à la chaleur (fruits, épices, légumes, grains, plantes, etc.). De plus, le vide est un choix naturel à joindre avec des micro-ondes, puisque l'humidité s'y évapore à de plus basses températures, diminuant par le fait même tout dommage causé par la chaleur et assurant que les propriétés initiales des matériaux soient maintenues.

### LE PROCESSUS

L'utilisation des micro-ondes sous vide pour la déshydratation permet de faire évaporer l'eau sans causer de changements importants à la composition du produit. L'énergie micro-onde pénètre rapidement et profondément dans le produit afin de réduire le temps de séchage. Par le fait même le séchage micro-onde permet le séchage d'une variété de produits difficilement transformable par les procédés de séchage traditionnels. L'utilisation de l'énergie de micro-onde à basse pression a pour résultat une augmentation de la température de produit limitée au point d'ébullition de l'eau à cette basse pression. Ceci permet de maintenir une température de produit à un niveau au-dessous de la température utilisée dans des conditions atmosphériques de 101kPa.

Le séchoir se compose habituellement de la source de micro-onde (magnétron), de guides de micro-onde (canaux), d'une cavité micro-onde, d'un support du produit, d'instruments de contrôle, d'un condensateur, et d'une pompe à vide. Il est possible d'établir un processus continu, mais un soin spécial doit être pris pour la cavité micro-onde afin d'empêcher les fuites micro-onde et conserver la pression sous vide.

Il y a plusieurs paramètres qui peuvent être modifiés et qui doivent être surveillés: la puissance d'entrée micro-onde, le mode d'entrée de micro-onde (continu ou pulsé), et le niveau de pression sous vide. La combinaison de ces trois paramètres doit être étudiée afin de maximiser le processus pour chaque produit.

### ÉCONOMIE DU PROCÉDÉ

Le séchage est un processus très énergivore, qui justifie que l'on détermine sa consommation énergétique et les possibilités d'économies. Une étude effectuée par Sunjka et coll. [1] présente une comparaison économique du séchage micro-onde/sous vide et micro-onde/air chaud de canneberges démontrant la supériorité du séchage micro-onde/sous vide. D'ailleurs, Yongsawatdigul et Gunasekaran [2] ont étudié la différence entre le séchage micro-onde en modes pulsé et continu, et ils ont conclu que le mode pulsé était non seulement plus économe en énergie mais offrait également un produit de meilleure qualité.

### MATÉRIEL SEC

Les matériaux pouvant être séchés par l'énergie micro-onde et sous vide sont de forte valeur marchande, comme des produits bio-pharmaceutiques, des épices, fruits, et tous matériaux sensibles à une exposition à la chaleur. Des fruits de haute valeur comme les canneberges [1] et [2], raisins Thompson [3], bananes [4] et [5], sont de bons choix parce qu'ils sont sensibles à la chaleur et la basse température du processus peut aider à maintenir leur qualité. Certains des paramètres de qualité qui sont importants et doivent être pris en compte sont les propriétés organoleptiques (couleur, odeur, et goût), la valeur nutritive, le coefficient de réhydratation, et les propriétés texturales. Les épices telles que l'origan peuvent tirer bénéfice de ce processus en permettant de conserver leur principal paramètre de qualité, soit leurs composantes volatiles [6]. Le seul processus de séchage qui donne la même qualité, ou une qualité supérieure de produit final est la lyophilisation. Mais la lyophilisation est habituellement plus dispendieuse que le séchage avec micro-onde sous vide, et pour chaque produit séché on doit déterminer si la différence de qualité est proportionnelle à la différence du coût de production. Le séchage de carottes par micro-onde et sous vide a démontré une conservation élevée des propriétés initiales (produit frais) en comparaison avec des carottes séchées à l'air chaud, et de qualité égale ou supérieure aux carottes lyophilisées [7]. Le taux de séchage rapide et la conservation des composés volatiles ont été notés lors du séchage d'oignons par Chen et Chiu [8].

### APPLICATION INDUSTRIELLE

Pourquoi l'industrie est-elle si lente pour accepter ce processus prometteur? Certaines des raisons sont peut-être les coûts initiaux élevés et la non-polyvalence de séchoirs micro-onde/sous vide lors d'un changement des matériaux. Il y eu quelques tentatives notables dans le début des

années 80 d'introduire sur le marché des systèmes de séchage micro-onde sous vide à l'échelle industrielle: Séchoir à grain micro-onde VAC-U-WAVE par Ken Bratney Company, Système MIVAC par McDonnell Douglas Corp., et séchoir sous vide micro-onde GIGAVAC.

## PROBLÈMES

Malheureusement, le séchage micro-onde sous vide n'est pas sans problèmes. Il présente des désavantages, le principal étant un séchage irrégulier. Le même produit séché peut avoir des taches avec odeur et apparence brûlée, tout en ayant toujours une humidité élevée [9]. En raison d'une faible dissipation thermique à l'intérieur du produit, les points thermiques localisés peuvent survenir. Ceci peut être résolu par une meilleure distribution du produit à l'intérieur de l'enceinte micro-onde, avec une meilleure conception de la surface du plateau, ou à l'aide d'une plateforme tournante (traitement par lots) ou d'une courroie mobile (processus continu).

## CONCLUSION

Le processus de séchage avec micro-onde et sous vide mérite d'être étudié plus profondément, parce qu'il offre une bonne relation entre le coût de transformation et la qualité finale du produit. Avec une conception appropriée du séchoir, l'identification de tous les paramètres du processus, et un contrôle approprié de ces paramètres, il est possible d'obtenir un produit de haute qualité par séchage micro-onde sous vide.

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] Sunjka, P.S., T.J. Rennie, C. Beaudry, and G.S.V. Raghavan. 2004. Microwave-Convection and Microwave-Vacuum Drying of Cranberries: A Comparative Study. *Drying Technology* 22(5): 1217-1231.
- [2] Yongsawatdigul, J. and S. Gunasekaran. 1996a. Microwave-Vacuum Drying of Cranberries: Part I. Energy Use and Efficiency. *J. Food Processing & Preservation*. 20: 121-143.
- [3] Clary, C.D. and G.A.S. Ostrom. 1995. Use of Microwave Vacuum for dehydration of Thomson Seedless Grapes. A research bulletin, CATI publication No 950405.
- [4] Drouzas, A.E. and H. Schubert. 1996. Microwave Application in Vacuum drying of Fruits. *Journal of Food Engineering*, 28: 203-209.
- [5] Mousa, N. and M. Farid. 2002. Microwave vacuum drying of banana slices. *Drying Technology*, 20(10): 2055-2067.
- [6] Yousif, A.N., Durance, T.D., Scaman, C.H., and B. Girard. 2000. Headspace Volatiles and Physical Characteristics of Vacuum-microwave, Air, and Freeze-dried Oregano (*Lippia berlandieri* Schauer). *Journal of Food Science*. 65(6): 926-930.
- [7] Lin, T.M., T.D. Durance, and C.H. Scaman. 1998. Characterization of vacuum microwave, air and freeze dried carrot slices. *Food Research International*, 31(2): 111-117.
- [8] Chen, S.D. and E.M. Chiu. 1999. Kinetics of Volatile Compound retention in Onions during Microwave Vacuum drying. *Food Science and Agricultural Chemistry*, 1(4): 264-270.
- [9] Sunjka, P.S., S. Geyer, and G.S.V. Raghavan. 2003. Application of microwave drying techniques on cranberries and guavas. A presentation written for CSAE/SCGR 2003 meeting, Montreal, July 2003. Paper No 03-335.

## ***Procédés micro-ondes en Chine : Transfert Technologique et Développement***

Vijaya G.S. Raghavan, Professeur<sup>1</sup>, Valérie Orsat, Ing.<sup>2</sup>, Zhun Liu, Professeur<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Dept. Génie des Bioressources,  
Université McGill, Ste-Anne de Bellevue, QC, H9X 3V9, vijaya.raghavan@mcgill.ca

<sup>2</sup>Dept. Génie des Bioressources,  
Université McGill, Ste-Anne de Bellevue, QC, H9X 3V9, valerie.orsat@mcgill.ca

<sup>3</sup>Elemento-organic chemistry, Nankai University, Tianjin, China

### **SOMMAIRE**

Ce projet, subventionné par l'Agence Canadienne de Développement International, a fait la promotion de l'utilisation intégrée de technologies micro-ondes pour des applications agro-alimentaires et pharmaceutiques en phyto-chimie. Nos partenaires chinois étaient le « Research Institute of Elemento-Organic Chemistry (RIEOC) » de l'Université de Nankai à Tianjin, et le « Chinese Research Academy of Environmental Sciences (CRAES) » à Beijing.

D'intéressants développements techniques ont été atteints avec de nouvelles stratégies de mise à l'échelle d'équipement d'intérêt pour des applications industrielles dans les domaines de l'extraction de phyto-ingrédients issus de plantes (ginsenosides de ginseng, insecticide de la graine de margousier, des antioxydants de pépins de raisins, etc.). Nos efforts de recherche et développement ont établi d'importantes relations entre les composantes biologiques et leur comportement lorsque soumis aux micro-ondes. Ces relations sont utiles à l'analyse de l'extraction des matériaux, à la sélection des types de solvants et à la compréhension en général des réactions chimiques assistées par micro-onde.

L'extraction assistée par micro-onde permet un procédé rapide ne nécessitant qu'une fraction seulement de la quantité de solvant utilisée lors des procédés traditionnels d'extraction.

## ***A Microcontroller-based, Power Control System for Microwave Drying Process***

Zhenfeng Li, Ning Wang, G. S. V. Raghavan

Department of Bioresource Engineering,  
McGill University, Ste-Anne-de-Bellevue, Quebec,  
Canada

### **ABSTRACT**

To provide a more efficient and smooth power control to microwave drying process, a feedback, microcontroller-based power control system was developed. The system is based on a phase-control principle to achieve continuous power control. Two temperature sensors, a thermocouple probe and an infrared sensor, were used and compared.

### **INTRODUCTION**

With the development of microwave technology, microwave-drying method has been introduced to food processing procedures and found advantages of higher drying rate, shorter drying time, lower energy consumption, and better quality of the dried products (Sanga et al., 2000). When food and biological materials are exposed under microwave energy, the water molecules, which are dipoles, begin to spin at the same frequency as the electromagnetic field. This high frequency vibration of water molecules then generates heat within the material, eventually leading to moisture evaporation. For ideal drying effects, microwave energy applied to the product needs to be controlled at suitable levels. Microwave power in most modern microwave ovens is controlled in an intermittent manner. To achieve the best drying quality of products, many researchers have been investigating the best ratio between the number of “ON-cycles” and the number of “OFF-cycles” within a predefined time interval (Changrue, et al., 2004; Sunjka, 2003; Liang, et al., 2004). Due to large variance of inherent properties, bio-products may react differently under microwave. Each bio-product may need a specific intermittent power scheme. Meanwhile, power control scheme also depends on size, quantity, and moisture content of the material. Any changes in these factors will affect the efficiency and results of the drying process. Hence, more stable and convenient power control methods are needed to optimize the microwave drying process. The main objective of this study is to develop a microcontroller-based, feedback power control system for microwave ovens.

### **MATERIALS AND METHODS**

The block diagram of the designed system is given in Figure 1. It consisted of a commercial household microwave oven, a temperature sensor, a triac control circuit, a zero-crossing detection circuit, and a microcontroller with a keypad. Three types of temperature sensors, including a thermocouple, an IR temperature sensor, and a fiber optic thermometer, were tested and compared in order to select a suitable sensor for the feedback temperature measurement in



the designed system. A microcontroller, Motorola 68HC11 (CME11E9-EVBU, Axiom Manufacturing, TX, USA) was used as a core controller. The system software included a program for data acquisition and preprocessing, a program to calculate the triggering angle, and a program to generate a control waveform for the power triac. All programs were written in assembly language for Motorola 68HC11, compiled and debugged using the Buffalo Development Tools (Axiom Manufacturing, TX, USA), and were running on the 68HC11 microcontroller.

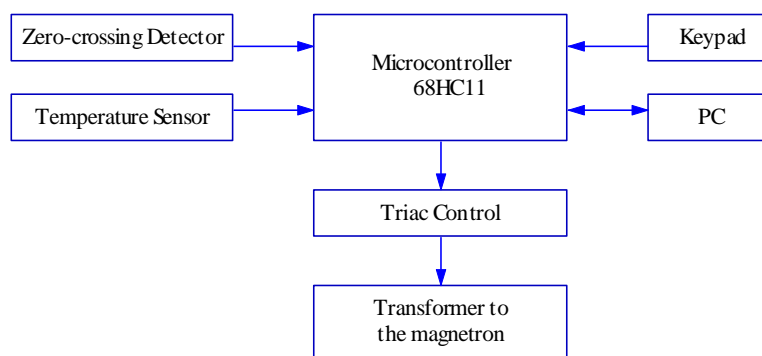


Figure 1. Block diagram of the feedback, power control system

## RESULTS AND DISCUSSION

The feedback power control system was tested extensively through three sets of tests. They were designed to calibrate the system to control the temperature of a water sample during microwave heating using a thermocouple and an IR temperature sensor, respectively, and to evaluate system performance in controlling the temperature of a carrot sample during microwave drying. In general, test results have demonstrated that the feedback power control system developed in this study was capable of monitoring and controlling product temperature during drying process. The results from Tests 1 and 2 showed that the feedback control system using both the thermocouple probe and the IR sensor was able to control the water temperature to a preset value. The control system with the IR sensor gave higher accuracy and smoother control with the maximum control error of  $\pm 1.5^{\circ}\text{C}$ . Using the designed control system, within 90 minutes, the carrot samples lost 67.7% of its mass due to water loss and less than 2% of the carrot cubes were burned.

## CONCLUSIONS

The feedback power control system for the microwave oven performed the designed functions. Three temperature sensors, a thermocouple probe, an IR sensor, and a fiber-optic thermometer, were tested and compared. The IR sensor demonstrated its advantage on non-contact measurement. Using the IR sensor to provide the feed back temperature measurement, the temperature of a water sample could be controlled with a maximum error of  $\pm 1.5^{\circ}\text{C}$  and the carrot sample could be dried to 14.63% moisture content (wet basis) within 180 minutes.

## REFERENCES

- Changrue, V., P. S. Sunjka, Y. Garipey, G.S.V. Raghavan, and N. Wang. 2004. Real-Time Control of Microwave Drying Process. *The Proceedings of The 14<sup>th</sup> International Drying Symposium*. August 24, 2004, Sao Paulo, Brazil.
- Liang L., Z. Mao, and T. Cheng, 2003. *Study on the Application of Freeze Drying and Microwave Drying to Flowers*. ASAE Paper No. 036075. St. Joseph, Mich.: ASAE.
- Sanga, E., Mujumdar, A.S., and G.S.V. Raghavan. 2000. Principles and Application of Microwave Drying. In *Drying Technology in Agriculture and Food Sciences*, 313. A.S. Mujumdar. Science Publishers, Inc. Enfield, NH.
- Sunjka, P. S. 2003. Microwave/vacuum and osmotic drying of cranberries. *MSc. Thesis*, Department of Agricultural and Biosystems Engineering, McGill University, Montreal, Canada.

## ***Application of Radio-Frequency heating to protein foods***

Hosahalli Ramaswamy<sup>1</sup>, Jasim Ahmed<sup>2</sup> and Shafi-Ulla Zaman<sup>3</sup>

Department of Food Science and Agricultural Chemistry,  
Macdonald Campus, McGill University, Ste Anne de Bellevue, Quebec, H9X 3V9, Canada.

Hosahalli Ramaswamy<sup>1</sup> <[hosahalli.ramaswamy@mcgill.ca](mailto:hosahalli.ramaswamy@mcgill.ca)>

Jasim Ahmed<sup>2</sup> <[jahmed2k@yahoo.com](mailto:jahmed2k@yahoo.com)>

Shafi-Ulla Zaman<sup>3</sup> <[shafiullah@yahoo.com](mailto:shafiullah@yahoo.com)>

**Address correspondence to: Dr. Hosahalli Ramaswamy**

### **ABSTRACT:**

Radio frequency (RF) heating has been successfully used in paper, wood and plastic industries. RF heating refers to heating the dielectric materials with electromagnetic energy at frequency range of 10-100 MHz. The technology generates heat within food products and has advantages over conventional and microwave heating in terms of penetration and uniformity. Recently, research on RF heating on food is getting momentum and some studies on pasteurization and sterilization of liquid foods have been reported.

RF to some starch based viscous foods was successfully applied and modeled previously in a commercial RF heating equipment. In this study, protein foods were tested in a new custom-fabricated 2 kW RF heater at 27.14 MHz. In order to be able to quantitatively relate the RF heating to kinetics and thermal transitions in foods, the unit was run in batch mode and the applicator was used as a static reactor. Samples were placed in 2 mL polypropylene vials and suspended to RF-zone of applicator fully immersed in water. Time-temperature data collected using fiber optic probe assured that both water and sample heated simultaneously during RF heating. Protein foods were found to be denatured within 150s (78-80°C) of heating using 600W power levels and formed a gel. Parallel studies using DSC and rheology confirmed the associated changes to protein gelation. The radio frequency heating under continuous mode was found to be feasible for such purposes as pasteurization of beverages and also texturization of protein foods at moderately low temperatures.



23 mars 2005  
15 :25 à 17 :00

## Session 9 : Bâtiments agricoles

Modérateur : G. Gingras

## ***Séparation des déjections porcines sous les lattes pour réduire les rejets dans l'environnement***

Isabelle Lachance (Conférencière), ing. jr. et Martin Belzile (Conférencier), ing. jr.

Stéphane Godbout, ing., Ph.D., agr.

Alfred Marquis, ing., Ph.D., agr.

Stéphane P. Lemay, ing., P.Eng., Ph.D

Francis Pouliot, ing.

### **Introduction**

Au Québec, 98,2 % des unités animales porcines ont leurs déjections gérées sous forme liquide (lisier) (Pigeon, 2003). Cette gestion peu coûteuse est appropriée dans un contexte d'hygiène et de contrôle sanitaire élevé. Cependant, dans un contexte de surplus de phosphore, la gestion du lisier est difficile car tous les éléments fertilisants sont dissous et mélangés dans un même liquide. Également, au niveau de la qualité de l'air, la gestion conventionnelle par siphon (pull plug) génère d'importantes émissions de gaz et d'odeurs.

Il existe des solutions, telle que la séparation mécanique, pour pallier aux problèmes de surplus et qui permettent de gérer individuellement les deux phases et d'éviter le traitement complet. Les séparateurs mécaniques sont cependant coûteux et d'efficacités variables (Zhang et Westerman 1997; Moller et *al.* 2000). Jusqu'à maintenant, les systèmes de traitements complets sont au stade de développement. Plusieurs de ces procédés de traitements nécessitent une séparation solide-liquide en première étape du procédé (*Comité de transfert technologique du Plan agroenvironnemental de la production porcine*, FPPQ). Dans l'ensemble, étant donné les coûts élevés jumelés à une efficacité variable dans plusieurs des cas, ces systèmes de séparation et de traitement sont très peu utilisés dans les élevages porcins. Il apparaît donc que la séparation des solides et des liquides sera un élément important dans le développement de la production porcine dans les prochaines années. La séparation des urines et des fèces sous le caillebotis et l'enlèvement rapide des deux fractions amélioreraient l'efficacité de séparation, les conditions hygiéniques, l'ambiance et l'environnement d'un bâtiment porcin et par le fait même, diminueraient les émissions d'odeurs (Jongebreur, 1981). Dans la littérature, il existerait plusieurs types de système de séparation sous les caillebotis. Dans l'ensemble, ces techniques de collecte sélective sous les lattes permettraient la concentration d'au moins 80 % du phosphore dans une partie solide ayant un minimum de 25% de teneur en matière sèche. De même, la réduction du temps de contact des fèces avec l'urine au bâtiment permet de diminuer de 50 % les émissions d'odeurs et de gaz.

## Description du projet

### ***Le projet dans son ensemble et sa réalisation***

Le projet dans son ensemble compte trois grands volets et son objectif est d'évaluer une approche de gestion des déjections sous les animaux qui facilite la manutention, mais aussi le traitement et la valorisation des phases solide et liquide, tout en diminuant les émissions de gaz et d'odeurs.

Le premier volet consistait à évaluer l'efficacité de séparation du système gratte-dalot existant à l'Université Michigan (figure 1). Pouliot et al. (2004) concluait que le volet de ce projet a permis de mettre en évidence l'intérêt de séparer sous les lattes le liquide du solide. Le système de gratte en « V » a permis, en moyenne, de concentrer 91 % du phosphore, 66 % de l'azote total et plus de 95 % des métaux dans une fraction solide ayant 34 % de matière sèche et dont la fraction solide correspond à 40 % du volume total de rejet. Les mêmes auteurs indiquaient également que les coûts de construction supplémentaires par rapport à un bâtiment conventionnel étaient évalués à 38 \$/place\*porc, mais l'optimisation du système de gratte en « V » permettrait à moyen terme d'en réduire les coûts.



Figure 1 : Système de gratte dalot de la porcherie de l'Université du Michigan

Le second volet, faisant l'objet de la présente conférence, consistait à évaluer l'efficacité de différents systèmes de séparation sous les lattes et de comparer les émissions gazeuses et odorantes produites par rapport à des systèmes de gestion conventionnelle.

Le troisième et dernier volet consiste à réaliser des activités de transfert de la technologie aux concepteurs de bâtiments porcins. Ce transfert se fera en grande partie par le biais d'un projet de démonstration à la ferme.

### **Les essais de Deschambault (volet II)**

Le site expérimental utilisé consiste en douze chambres identiques, complètement indépendantes. La superficie de chambre est de 1,2 m par 2,44 m et les planchers sont entièrement lattés. Les lattes sont en béton et les parois en contreplaqué peint dont la partie inférieure est recouverte d'une feuille de PVC. Les porcs sont alimentés par des trémies sèches et des bols économiseurs d'eau. Chaque chambre accueillait lors de l'étude quatre (4) porcs de 30 kg élevés jusqu'à 80 kg sur une période de huit (8) semaines

Le dispositif expérimental comprenait cinq (5) traitements et un (1) témoin (tableau 1). Pour cette expérience, le témoin était le système de vidange gravitaire (pull plug). Le dispositif proposé est un dispositif aléatoire avec mesures répétées dans le temps.

Tableau 1 : Description des traitements

No. Traitement	Type de système (Figures 2 à 5)	Fréquence de vidange ou de grattage
1	Vidange gravitaire (témoin)	Vidé une fois par semaine
2	Gratte conventionnelle	Aux deux ou trois jours
3	Gratte en « V »	Aux deux ou trois jours
4	Gratte en «V» journalière	Gratté chaque jour; vidé au deux ou trois jours
5	Filet du CEMAGREF	Aux deux ou trois jours
6	Courroie de Van Kempen	Aux deux ou trois jours

En tout, plus d'une quinzaine de paramètres ont été analysés et suivi dans les deux phases des lisiers dont notamment la teneur en matière sèche (M.S.), en phosphore (P) et en azote (N<sub>tot</sub> et N<sub>amm</sub>). Afin de vérifier l'effet des différents systèmes sur la qualité de l'air, les caractéristiques suivantes ont été mesurées dans chacune des chambres: NH<sub>3</sub>, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, odeurs, poussières, débits de ventilation, température et humidité.





Figure 2 : Gratte conventionnelle



Figure 3 : Gratte en «V»



Figure 4 : Filet du CEMAGREF



Figure 5 Courroie de Van Kempen

## Résultats

### *Impact sur l'efficacité de séparation*

Les résultats préliminaires (tableau 2) démontrent que pour l'ensemble des traitements avec système de séparation, peu importe le système, la proportion de phosphore retenue dans la fraction solide est d'environ 90 %. La gratte en « V » est la plus efficace pour la séparation du phosphore (92,8 %) et la courroie est celle performant le moins bien (88,4 %). L'efficacité de la gratte en « V » journalière et du filet est de 91,4 %.

En ce qui concerne la proportion de matière sèche de la partie solide résultant de la séparation, la gratte en « V » est celle qui donne le plus haut pourcentage (42,5 %), comparativement à 34,6 % pour la technique qui s'en rapproche le plus, la gratte en «V» journalière, soit un avantage de plus de 22 % pour la gratte en « V ». La courroie et le filet ont des résultats supérieurs à 30 %, soit respectivement 32,4 % et 34,3 %. Pour ce paramètre, le témoin et la gratte conventionnelle étaient respectivement composés de 22,2 % et 20,4 % de matière sèche.

Les autres éléments retrouvés dans la partie solide sont généralement en proportion similaire peu importe la technique utilisé. Il n'y a que le filet du CEMAGREF qui semble moins bien retenir certains des éléments, soit l'azote totale (40,8 %), le potassium (33,7 %) et le zinc (25,8 %) dans la partie solide.

Tableau 2 : Efficacité des traitements de séparation des différents éléments\*

Traitement	M.S.	N-TOTAL	P	K	Cu	Zn
	%	% d'extraction dans la partie solide				
1	22,2	-	-	-	-	-
2	20,4	-	-	-	-	-
3	42,5	52,2	92,8	43,7	92,4	38,1
4	34,6	44,7	91,4	38,4	93,1	43,5
5	34,3	40,8	88,4	33,7	89,0	25,8
6	32,4	53,2	91,4	45,5	83,5	47,3

\* Données préliminaires provenant du premier essai d'un projet comptant deux essais.

### ***Impact sur les odeurs***

Les données recueillies indiquent que tous les traitements offrent un avantage (entre 12% et 48%) par rapport au témoin quant à la réduction des odeurs (tableau 3). Cependant, l'utilisation de la grappe en «V» (21 % de réduction) ou du filet (24 %) n'offrent aucun avantage quant à la réduction de la concentration d'odeurs par rapport à l'utilisation de la grappe conventionnelle (30%). Parmi les systèmes de séparations sous les lattes, seule la courroie semble offrir de meilleurs résultats que la grappe conventionnelle en terme de réduction des odeurs (48%).

Finalement, puisque la grappe en «V» journalière a un plus faible pourcentage de réduction (12 %) que le même système moins fréquemment activé (21 %), il peut être considéré que pour une période de 1 à 3 jours, il n'y a pas de différence quant à la fréquence de vidange journalière des déjections.

### ***Impact sur les concentrations de gaz***

Les résultats des analyses de concentration des gaz tendent à illustrer que les différents traitements n'ont pas d'influence majeur sur la concentration d'oxyde nitreux, de méthane et de gaz carbonique. Dans le cas de l'ammoniac, la réduction est plus élevée, mais ce situe à environ 50 %. Il est par contre intéressant de noter que, lorsque comparé avec le témoin, aucun des

traitement de séparation ne semble réduire d'avantage la concentration de gaz que l'utilisation de la gratte conventionnelle.

Il est important de spécifier que pour la présente étude, le système témoin était vidé après 7 jours au lieu de la durée habituelle d'un bâtiment conventionnel, réduisant ainsi le processus de décomposition anaérobie.

Tableau 3 : Émissions d'odeurs et concentrations moyennes de différents gaz\*

Traitement	Odeurs	CH <sub>4</sub>	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub> O	NH <sub>3</sub>
	o.u./h*kg <sub>porc</sub>	ppm	ppm	ppm	ppm
1	306	4,2	977	0,4	6,3
2	213	4,3	1040	0,4	3,2
3	240	4,0	968	0,4	2,9
4	268	4,3	957	0,4	3,0
5	232	4,3	991	0,4	3,5
6	160	4,2	968	0,4	2,7

\* Données préliminaires provenant du premier essai d'un projet comptant deux essais.

## Conclusion

Dans le contexte actuel au Québec, il s'avère que la séparation sous les lattes est une solution intéressante. Les différents systèmes de séparation étudiés permettent de concentrer 90 % du phosphore dans une phase solide d'au moins 30% de matière sèche. Parmi les 4 différentes technologies, la gratte en « V » semble l'une des plus prometteuse sur cet aspect compte tenu également de sa simplicité.

Les différentes concentration de gaz semblent peu influencées par le système de collecte de lisier dans le bâtiment. À l'exception de la courroie et de la gratte en « V », aucun procédé de séparation ne permet de réduire les concentrations d'ammoniac par rapport à un système de gratte conventionnel. Le méthane, le gaz carbonique et l'oxyde nitreux ne semblent pas être influencés et ce ni par la fréquence et ni par la technologie.

Selon la littérature, les systèmes de séparation sous les lattes devraient permettre de réduire de 50% les concentrations d'odeurs. Les données préliminaires analysées à ce jour ne permettent pas de confirmer cette tendance.

## Remerciements

Cette étude a été réalisée grâce au support financier des partenaires suivants : le Conseil pour le développement de l'agriculture du Québec (CDAQ), la Fédération des producteurs de porcs du Québec (FPPQ), l'Institut de recherche et de développement en agroenvironnement (IRDA), le Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation (MAPAQ), l'Université Laval, le Prairie Swine Center (PSCI), le Centre de recherche en science animale de Deschambault (CRSAD), le Centre de développement du porc du Québec (CDPQ), l'Institut de recherche en santé et sécurité au travail (IRSST) et la Coopérative Fédérée de Québec. Nous tenons à remercier le Michigan State University (MSU), Robert von Bernuth, Jeff Hill et Erin Henderson pour leur implication dans le projet et leur contribution dans la réalisation des essais conduits au Michigan.

## Références

Pigeon, S. 2003. Complément d'information concernant le suivi des plans des interventions agroenvironnementales des fermes porcines du Québec, année de référence 2001. Document remis au BAPE, le 29 mai 2003, 4 pages. Consultation sur le développement durable de la production porcine au Québec. FULI57. 6211-12-007.

Jongebreur, A.A. 1981. Housing system and their influence on the environment. Environmental aspects of housing for animal production, Butterworths, London, UK : 431-436.

Moller , H.B., I. Lung et S.G. Sommer. 2000. Solid-liquid separation of livestock slurry : efficiency and cost. Bioresource technology, 74: 223-229.

Pouliot, F., S.Godbout, D.Hamel et R. Leblanc. 2004. Isoler les fèces et l'urine sous les lattes: des résultats en engraissement. Conférence donnée dans le cadre de l'Expo Congrès porc. Cahier des conférences : 9-27.

Zhang, R. H. et P. W. Westerman. 1997. Solid-Liquid Separation of Animal Manure for Odor Control and Nutrient Management. Applied Engineering in Agriculture, 13(5): 657-664.

## ***Modélisation des échanges thermiques et d'humidité dans un bâtiment d'élevage avicole commercial***

François Lachance<sup>1</sup>, Jacques-André Landry<sup>1</sup>, Benoît Laberge<sup>2</sup>

<sup>1</sup>École de Technologie Supérieure, Département de génie de la production automatisée,  
Montréal, Québec H3C 6M8

<sup>2</sup>Excel Technologies, Joliette, Québec J6E 8S6

### **SOMMAIRE**

Les données concernant la production de chaleur latente et de chaleur sensible du poulet de chair ont constamment évoluées au cours des années. La littérature cite plusieurs auteurs qui mentionnent l'importance d'actualiser ces données (Reece et Lott, 1982 ; Flood et al., 1992; Gates et al., 1996 ; Chepete et Xin, 2001; Xin et al., 2001), afin de permettre aux ingénieurs de concevoir des systèmes de ventilation adéquats pour les bâtiments d'élevages commerciaux. Ce projet, inspiré des travaux de Fennir et al. (2003), a comme principal objectif de modéliser les échanges de chaleur et d'humidité entre l'intérieur et l'extérieur d'un bâtiment avicole commercial. À l'aide de ce modèle, il est possible, après l'acquisition de données pertinentes, de calculer la production de chaleur latente et sensible du poulet de chair en situation d'élevage commercial.

Considérant que le système étudié est un système fermé non adiabatique ne comprenant que la chambre d'élevage et son environnement immédiat, et en se basant sur le principe de conservation de l'énergie, il est alors possible d'effectuer une balance thermique du système. Cependant, puisqu'un environnement de production stable est désiré, on doit s'assurer que les échanges de chaleur entre le système et son environnement sont balancés en régime permanent. Ainsi, l'énergie évacuée du système doit être, en tout temps, égale à la somme de l'énergie entrante et de l'énergie produite à l'intérieur du système (équation 1.1).

$$q_{\text{entrante}} + q_{\text{produite intérieure}} - q_{\text{évacuée}} = 0 \quad (1.1)$$

Tout d'abord, il est important de considérer toutes les sources de chaleur à l'intérieur du bâtiment. La balance thermique tient compte de l'énergie provenant des lumières, des moteurs et des éleveuses, ainsi que des gains ou des pertes d'énergie par le système de ventilation et par le bâtiment. En tenant compte de tous ces facteurs, il est possible d'évaluer la chaleur totale produite par le poulet. Le modèle développé dans le cadre de ce projet s'appuie sur l'hypothèse suivante : la température extérieure est moins élevée que la température à l'intérieur du bâtiment d'élevage, donc nous avons une perte d'énergie par le bâtiment.

Ayant identifié les sources de chaleur associées à un bâtiment avicole commercial, il est possible d'exprimer l'équation 1.1 sous une forme plus détaillée (équation 1.2).

$$q_{\text{totale poulet}} + q_{\text{lumières}} + q_{\text{moteurs}} + q_{\text{éleveuses}} - q_{\text{ventilation}} - q_{\text{bâtiment}} = 0 \quad (1.2)$$

Toutes les variables de l'équation 1.2, à l'exception de  $q_{\text{totale poulet}}$ , sont des sources de gain ou de perte de chaleur pouvant être mesurées à l'aide de capteurs déjà commercialisés (température, humidité relative, pression statique).

Puisque la chaleur totale produite par un animal peut-être séparée sous deux formes, soit la chaleur latente et la chaleur sensible, on obtient l'équation 1.3. Afin de déterminer quelles sont les proportions de chaleur qui sont produites sous forme sensible et latente, on se doit d'être en mesure de calculer l'une ou l'autre de ces formes de chaleur afin d'obtenir une seule inconnue.

$$q_{\text{totale poulet}} = q_{\text{sensible poulet}} + q_{\text{latente poulet}} \quad (1.3)$$

La chaleur sensible consiste en toutes les sources de chaleur transmises par conduction, convection ou radiation. L'échange conductif s'effectue par les pattes de l'animal ou bien toutes autres parties de son corps en contact avec une autre surface. Les échanges de chaleur convectifs sont fonction de la surface, de la vitesse d'air à la surface du poulet ainsi que de la différence de température entre l'air ambiant et la température corporelle du poulet. Finalement, la production de chaleur radiante, qui est difficile à mesurer, dépend du gradient de température entre la température corporelle du poulet et de l'air ambiante, ainsi que de l'émissivité de ces animaux. Alors nous proposons de soustraire la chaleur latente de la chaleur totale produite, pour obtenir ensuite la chaleur sensible produite par le poulet.

Afin de mesurer la quantité de chaleur latente libérée par les poulets dans un milieu de production commercial, une balance d'humidité basée sur le principe de conservation de la matière est effectuée. La chaleur latente est définie comme étant l'énergie fournie par un animal pour évaporer l'eau évacué par respiration. Par hypothèse, on assume que l'air provenant de l'extérieur contient moins d'eau par kg d'air sec que l'air intérieur. Donc, en connaissant les taux avec lesquels l'humidité est évacuée du système et introduit dans le système, ainsi que les sources d'humidité à l'intérieur du système, il est possible de calculer le taux de production d'humidité des poulets.

$$ph_{\text{ventilation entrante}} + ph_{\text{poulet}} + ph_{\text{gicleurs}} + ph_{\text{éleveuses}} - ph_{\text{ventilation évacuée}} = 0 \quad (1.4)$$

Connaissant l'humidité produite par les poulets, il est alors possible d'estimer la chaleur latente (équation 1.5) libérée par ceux-ci, puisque la production d'humidité et la chaleur latente sont reliées par la chaleur latente d'évaporation de l'eau ;  $h_{fg}$  (Xin et al, 2001). La chaleur latente d'évaporation est l'énergie nécessaire pour évaporer de l'eau à une température donnée. Tous les

paramètres psychrométriques peuvent être évalués à l'aide d'un capteur de température et d'un capteur d'humidité relative, en assumant une pression atmosphérique constante (101 325 Pa).

$$q_{\text{latente poulet}} = p h_{\text{poulet}} h_{fg} \quad (1.5)$$

Considérant que l'humidité libérée par la litière provient principalement de l'eau contenue dans les excréments, il est tout à fait logique de considérer que l'humidité provenant de la litière est une forme indirecte de chaleur latente. Il est à noter que l'énergie latente calculée inclut aussi l'eau pouvant s'évaporer des abreuvoirs, mais cette source d'humidité est négligeable puisque les abreuvoirs à becs utilisés minimisent les dégâts d'eau sur le plancher d'élevage.

Le modèle proposé peut être facilement implanté dans un bâtiment avicole automatisé utilisant un système de ventilation mécanique à pression négative, puisque aucune modification importante au bâtiment n'est nécessaire. De plus, certains systèmes de contrôle actuellement sur le marché facilitent la vérification d'un tel modèle puisque l'architecture ouverte de ces systèmes permet l'ajout des capteurs additionnels nécessaires à la mesure de tous les paramètres, et ce sans interférer avec le fonctionnement actuel du système de contrôle environnemental. Par contre, la précision d'un tel modèle est sujette à l'évaluation en continu du débit de ventilation et cette variable est dépendante de plusieurs facteurs pouvant difficilement être évalués en continu.

L'intégration de systèmes de contrôle à architecture ouverte est indispensable à l'amélioration des conditions d'élevage car ces systèmes permettent l'ajout de nouveaux capteurs pouvant mesurer des paramètres souvent négligés à ce jour, et ainsi mener à un meilleur contrôle de l'environnement de production.

## Nomenclature

$h_{fg}$	Énergie d'évaporation de l'eau à saturation, kJ. kg H <sub>2</sub> O.s <sup>-1</sup>
$ph_{\text{éleveuses}}$	Taux moyen de production d'humidité pour l'ensemble des éleveuses, kg H <sub>2</sub> O.s <sup>-1</sup>
$ph_{\text{gicleurs}}$	Taux moyen de production d'humidité des gicleurs, kg H <sub>2</sub> O.s <sup>-1</sup>
$ph_{\text{poulet}}$	Taux moyen d'humidité produit à l'intérieur du bâtiment, kg H <sub>2</sub> O.s <sup>-1</sup>
$ph_{\text{ventilation}}$	Taux moyen de gain ou de perte d'humidité pour l'ensemble des ventilateurs, kg H <sub>2</sub> O.s <sup>-1</sup>
$q_{\text{bâtiment}}$	Taux moyen de gain ou de perte de chaleur du bâtiment, kW
$q_{\text{éleveuses}}$	Taux moyen de production de chaleur des éleveuses, kW
$q_{\text{entrante}}$	Taux moyen de chaleur entrant dans le système, kW
$q_{\text{évacuée}}$	Taux moyen de chaleur évacué à l'extérieur du système, kW
$q_{\text{latente poulet}}$	Taux moyen de production de chaleur latente totale des poulets, kW
$q_{\text{lumières}}$	Taux moyen de production de chaleur des lumières, kW
$q_{\text{moteurs}}$	Taux moyen de production de chaleur des moteurs, kW
$q_{\text{produite intérieure}}$	Taux moyen de chaleur produit à l'intérieur du système, kW
$q_{\text{sensible poulet}}$	Taux moyen de production de chaleur sensible des poulets, kW
$q_{\text{total poulet}}$	Taux moyen de production de chaleur totale des poulets, kW
$q_{\text{ventilation}}$	Taux moyen de gain ou de perte de chaleur sensible des ventilateurs, kW



## Références

1. M. A. Fennir, J. A. Landry, and G. S. V. Raghavan, "Respiration rate of potatoes (*Solanum tuberosum* L.) measured in a two-bin research scale storage facility, using heat and moisture balance and gas analysis techniques," *Canadian Biosystems Engineering*, vol. 45, pp. 9, 2003.
2. C. A. Flood, J. L. Koon, R. D. Trumbull, and R. N. Brewer, "Broiler Growth Data: 1986-1991," *Transaction of the ASAE*, vol. 35, pp. 703-709, 1992.
3. F. N. Reece and B. D. Lott, "Typical broiler chicken growth rates," *Poultry Science*, vol. 64, pp. 107, 1982a.
4. R. S. Gates, D. G. Overhults, and S. H. Zhang, "Minimum ventilation for modern broiler facilities," *Transaction of the ASAE*, vol. 39, pp. 1135-1144, 1996.
5. H. J. Chepete and H. Xin, "Heat and Moisture Production of Poultry and Their Housing Systems - A Literature Review," presented at 6th International Symposium, Louisville, Kentucky, USA, 2001.
6. H. Xin, I. L. Berry, G. T. Tabler, and T. A. Costello, "Heat and moisture production of poultry and their housing systems: broilers," *Transaction of the ASAE*, vol. 44, pp. 1851-1857, 2001.

## ***Explosion dans une porcherie avec une cave profonde, étude sur la production de biogaz.***

Yves Choinière, ing., agr., P. Eng.

Les Consultants Yves Choinière Inc., 84, rue Roy, Ange-Gardien (Québec) J0E 1E0,  
Tél. : (450) 293-8960, Fax : (450) 293-8963, [consultants@yveschoiniere.com](mailto:consultants@yveschoiniere.com)

### Sommaire :

Plusieurs porcheries sont construites avec un système d'entreposage du lisier dans une cave profonde sous les planchers lattés. Ces bâtiments sont compartimentés en plusieurs chambres de production. En hiver 2003, deux explosions sont survenues dans un de ces bâtiments. Lors du sinistre, la chambre était vide et le système de ventilation n'était pas en fonction. Une des chambres a été instrumentée pour mesurer les taux de dioxyde de carbone, de monoxyde de carbone, d'ammoniaque, de méthane, d'oxygène et d'humidité. Les résultats révèlent des taux à 0.5 % des limites LEL (pour explosibilité) du méthane après une période de 4 à 8 heures. En fait, avec des conditions atmosphériques avec des périodes de vitesse de vent très basse, il est fort possible d'obtenir des concentrations explosives de méthane de l'ordre de 5 % par volume.

## ***Optimisation et essai d'un échantillonneur à flux passif pour quantifier les émissions de protoxyde d'azote***

Eric Gaudet<sup>1</sup>, Stéphane Godbout<sup>2</sup>, Alfred Marquis<sup>1</sup>, Stéphane P. Lemay<sup>2</sup>,  
Frédéric Pelletier<sup>2</sup>, Roger Phillips<sup>3</sup>, Robert Sneath<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Département des sols et de génie agroalimentaire, Université Laval, Sainte-Foy, QC G1K 7P4

<sup>2</sup>Institut de recherche et de développement en agroenvironnement inc. (irda),  
120-A Chemin du Roy, Deschambault, Québec, G0A 1S0

<sup>3</sup>Silsoe Research Institute (SRI), Wrest Park, Silsoe, Bedfordshire, United Kingdom, MK45 4HS

### **Sommaire**

Au Canada approximativement 9,5% des gaz à effet de serre proviennent des différentes productions agricoles. Les contributions relatives des principaux gaz à effet de serre dans l'agriculture sont de 61% N<sub>2</sub>O, 38% CH<sub>4</sub>, et 1% CO<sub>2</sub>. Il est aussi estimé que 42% des émissions de sources agricoles proviennent de l'élevage d'animaux et qu'un tiers de ces émissions est associé au fumier. Il est important de remarquer que le N<sub>2</sub>O est le gaz à effet de serre le plus important, non seulement parce que ses émissions sont plus élevées mais parce que son potentiel de réchauffement est le plus élevé des trois gaz. Dans le secteur de l'agriculture, il y a un potentiel important de diminuer les émissions de gaz à effet de serre. Afin d'être capable de gérer ces émissions, il faut pouvoir les mesurer précisément afin de savoir d'où elles proviennent. Il faut aussi le faire à coût réduit. Cette recherche se concentre sur le développement d'un nouvel échantillonneur pour quantifier les émissions de protoxyde d'azote.

Une méthode d'échantillonnage qui est simple et qui ne coûte pas cher, est la méthode passive. Godbout (2003) a entrepris le développement d'un échantillon à flux passif pour le N<sub>2</sub>O et ce projet est la suite de cet ouvrage réalisé en 2003 par M. Godbout. La recherche présentement en cours, consiste en l'optimisation de la configuration physique de l'échantillonneur à flux passif pour améliorer l'adsorption et la désorption du protoxyde d'azote. L'échantillonneur développé a été optimisé à l'aide d'un logiciel de modélisation des écoulements des fluides, FLUENT. Pour l'expérimentation, quatre échantillonneurs identiques ont été construits.

Le nouveau design a passé trois stages d'évaluation. Le premier pour déterminer la relation entre la vitesse d'air autour de l'échantillonneur et la vitesse de l'air dans l'échantillonneur. Une régression linéaire a été faite pour déterminer la linéarité de la relation. La pente de cette relation est le facteur K, qui est le rapport entre la vitesse d'air dans l'échantillonneur et la vitesse d'air autour de l'échantillonneur. Cette valeur est utilisée dans le calcul de la quantité totale de protoxyde d'azote émise. La deuxième série de test est un test en ligne. Le but de celui-ci est de déterminer l'efficacité d'adsorption du N<sub>2</sub>O sur le zéolite dans l'échantillonneur. Pour déterminer si l'efficacité d'adsorption est affectée par le débit de gaz au travers de

l'échantillonneur, quatre différents débits ont été essayés : 5, 10, 15, et 20 ml/min de mélange de gaz qui contient 0,967 ppm de N<sub>2</sub>O, 10,1 ppm de CH<sub>4</sub>, et la balance de N<sub>2</sub> en quatre répétitions. En connaissant les concentrations du N<sub>2</sub>O dans le mélange gazeux, avant qu'il entre dans l'échantillonneur et à la sortie, (déterminé à l'aide d'un chromatographe en phase gazeuse, GC), l'efficacité d'adsorption du zéolite peut être déterminée. Le troisième test a été effectué dans un tunnel de vent pour déterminer l'efficacité globale de l'échantillonneur. Afin de déterminer si le taux d'émissions de gaz et la vitesse de vent ont un effet sur l'efficacité de l'échantillonneur, des essais furent réalisés en considérant deux taux différents d'émissions de 100 et 200 ml/min d'un mélange de 25,000 ppm de N<sub>2</sub>O et la balance en N<sub>2</sub> et en utilisant quatre vitesses de vent : 1, 3, 5 et 7 m/s. Quatre répétitions ont aussi été effectuées. L'efficacité totale de l'échantillonneur est déterminée en divisant la quantité de N<sub>2</sub>O désorbé de l'échantillonneur par la quantité totale passée au travers de l'échantillonneur. La quantité total de N<sub>2</sub>O traversant l'échantillonneur peut être calculée à partir de la concentration de gaz dans le tunnel de vent, la vitesse de vent, et le facteur K.

Les résultats obtenus démontrent que la relation entre la vitesse d'air autour de l'échantillonneur et la vitesse de l'air dans l'échantillonneur est linéaire avec des valeurs de  $r^2$  variant entre 0,97 et 0,99. Les facteurs K découlant de cette relation varient donc entre 0,0162 et 0,0244. L'efficacité de l'adsorbant n'a pas été significativement affectée par le débit du gaz au travers l'échantillonneur. L'efficacité d'adsorption du zéolite obtenue lors des tests en ligne est supérieure à 100 %. Les résultats des tests dans le tunnel de vent démontrent que le taux d'émission, contrairement à la vitesse du vent, n'affecte pas l'efficacité globale de l'échantillonneur. L'effet du vent sur l'efficacité devient significative lorsque la vitesse du vent est supérieure à 5 m/s. En effet, l'efficacité de l'échantillonneur demeure près de 100% pour des vitesses de vent variant de 1 à 5 m/s. Cependant, l'efficacité chute drastiquement à 50% lorsque la vitesse de vent atteint 7 m/s.

## ***Utilisation d'une solution moussante rétractable comme système d'isolation et d'ombrage des serres***

Damien de Halleux<sup>1</sup>, Joey Villeneuve<sup>1</sup>, Michel Baudhuin<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Département des sols et de génie agroalimentaire, Université Laval, FSAA, Québec, G1K 7P4.

Courriel : [Damien.de.halleux@sga.ulaval.ca](mailto:Damien.de.halleux@sga.ulaval.ca)

<sup>2</sup>Sunarc du Canada, 1980 Sherbrooke Ouest, suite 400, Montréal, H3H 1E8.

Tél : (514) 939 3900. Courriel : [info@sunarc.ca](mailto:info@sunarc.ca)

Les économies d'énergie ont toujours été une préoccupation majeure de l'industrie sericole. Le procédé d'injection de mousse isolante et ombrageante entre deux parois de serre est une technologie permettant d'augmenter substantiellement l'isolation des serres durant les périodes froides et d'assurer un ombrage adéquat durant les périodes chaudes.. L'objectif du présent projet est de montrer la faisabilité en milieu pré-commercial et de présenter les performances énergétiques et ombrageante de ce procédé.

Une serre conventionnelle de type nordique (25m x 6m) recouverte d'un double film de PE a été modifiée en vue de l'implantation du système d'injection et de récupération de mousse entre deux parois de polyéthylène (PE). Cette serre prototype ainsi qu'une serre témoin identique ont été instrumentées en vue d'enregistrer les conditions climatiques (températures, rayonnements global et PAR, HR,...) et les consommations énergétiques. Une culture de tomates hydroponique a été installée dans chacune des serres en vue de reproduire les conditions commerciales. Les paramètres agronomiques de la culture dans chacune des deux serres sont également enregistrés afin de pouvoir comparer les rendements des cultures.

Les résultats obtenus en laboratoire ont permis de prédire que le facteur d'isolation est grandement amélioré. Les aperçus préliminaires des résultats d'une saison complète (saisons hivernale et estivale) de culture en serre sont présentés lors de cette journée d'information. Les résultats obtenus jusqu'à présent en période hivernale permettent de prédire des économies d'énergie ponctuelles comprises entre 40 et 50% comparativement à la serre témoin. Les performances ombrageantes sont comprises entre 20 et 70%.

Après la prochaine saison de culture complète, on pourra démontrer la faisabilité technique de l'injection d'une solution moussante et de son retrait entre deux films PE de couverture de serre. Les résultats d'économie d'énergie anticipés en laboratoire et par modélisation pourront être confirmés grâce à l'expérimentation à l'échelle pré-commerciale.





23 mars 2005  
15 :25 à 17 :00

## Session 10 : Innovations en récolte

Modérateur : D. Hamel



## ***Développement d'une récolteuse de choux***

Roger Chagnon, ing, Marie Thérèse Charles, Sylvain Fortin, ing.,  
Jérôme Boutin, ing., Isabel Lemay et Dominique Roussel

Agriculture et Agroalimentaire Canada, Saint-Jean-sur-Richelieu, Canada

**Introduction :** Presque la totalité des choux est récoltée à la main (Figure 1), mais il est de plus en plus difficile pour les exploitants agricoles de trouver des travailleurs pour accomplir cet exigeant travail. De nombreux agriculteurs ont recours à des convoyeurs d'aide à la récolte (Figure 2) afin d'accélérer la cueillette. Cette méthode présente un inconvénient puisque les choux subissent de nombreux chocs sur ces convoyeurs et lorsqu'ils tombent dans les bacs d'entreposage. Cela peut entraîner des meurtrissures aux choux, lesquels se détériorent ensuite plus rapidement dans les locaux d'entreposage.



**Figure 1 : Récolte manuelle des choux.**

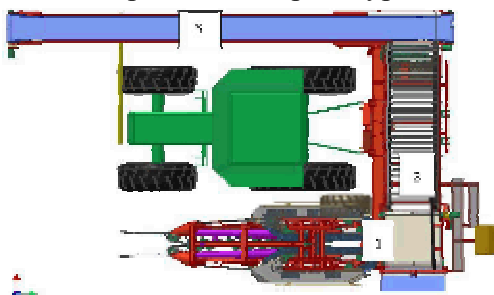
**Figure 2 : Récolte manuelle avec aide-récolteuse.**

L'idée de mécaniser le processus de récolte des choux n'est pas nouvelle. Malheureusement, les récolteuses développées jusqu'à ce jour causent trop de dommages aux choux, ce qui les rend inaptes à l'entreposage ou à la vente à l'état frais. C'est pourquoi la société Univerco Hydraulique (1978) Inc. a décidé d'investir dans le développement d'une récolteuse mécanique de choux. Elle a demandé aux scientifiques et aux ingénieurs du Centre de recherche et de développement en horticulture d'Agriculture et Agroalimentaire Canada à Saint-Jean-sur-Richelieu de l'aider à concevoir et à mettre à l'essai cette machine. Ce projet de recherche a débuté en août 1999 pour se terminer en 2003. Il a été mené par une équipe composée de nombreux employés de Univerco, les principaux étant Mario Bisailon, Régent Dunn, Alain Bisailon et Carl Bisailon. Les employés d'Agriculture et Agroalimentaire Canada qui ont contribué sont Sylvain Fortin, Jérôme Boutin et Roger Chagnon pour le volet ingénierie et Marie Thérèse Charles, Isabel Lemay et Dominique Roussel pour le volet de l'évaluation de la qualité post-récolte. La société Univerco est située à Napierville, à 50 km au sud de Montréal, Canada. Univerco exploite un atelier d'usinage et fabrique des récolteuses de carottes, d'oignons et de choux ainsi que des désherbeuses mécaniques et autre équipement de récolte horticole.

### **Développement de la récolteuse de choux**

La récolteuse de choux qui a été développée et mise à l'essai est une machine à un rang montée sur un tracteur agricole (Figure 3). Elle comporte trois principales parties : un cueilleur, un convoyeur incliné et un convoyeur de triage horizontal installé de l'autre côté du tracteur. Un

second tracteur tire une remorque transportant des bacs et les travailleurs qui mettent les choux dans les bacs. Examinons chacune des parties de ce prototype.



**Figure 3 : Vue en plan de la récolteuse de choux fixée à un tracteur : cueilleur (1), convoyeur incliné (2) et convoyeur à courroie horizontal (3).**

**Le cueilleur :** C'est le cueilleur qui a été le principal défi du projet. Il tire les choux du sol, avec la racine, au moyen de deux courroies identiques à celles utilisées sur les récolteuses de carottes. Les courroies ont été mises à l'essai à diverses vitesses, soit de 35 à 52 m/min, et les meilleurs résultats ont été obtenus à 37 m/min. Le cueilleur mesure 350 cm de longueur et 88 cm de largeur; il récolte des choux à un angle de 25° (Figure 4). Les choux ne sont pas endommagés lorsqu'ils sont tirés du sol parce qu'ils sont saisis en dessous des feuilles inférieures. Les courroies acheminent les choux jusqu'à une lame rotative qui coupe les tiges de façon très nette. Cette lame en acier inoxydable a un diamètre de 35 cm et tourne à 600 tr/min. Les racines tombent au sol et deux convoyeurs latéraux transportent les choux et leurs feuilles vers un convoyeur incliné. La hauteur de coupe est assez uniforme d'un chou à l'autre. La hauteur de la lame peut être réglée de façon à conserver plus ou moins de feuilles avec le chou.



**Figure 4 : Vue de face en position de travail**

**Figure 5 : Prototype de séparateur de feuilles**

**Séparateur de feuilles :** Un séparateur de feuilles a été développé (Figure 5) afin d'enlever les feuilles résiduelles des choux avant de les acheminer aux convoyeurs. Le séparateur de feuilles consiste en une bande transporteuse inclinée (29°) défilant vers le haut à une vitesse de 50 m/min. Les feuilles sont acheminées vers le haut sur le convoyeur et tombent sous la récolteuse. En raison de leur forme ronde et de leur poids, les choux roulent vers le bas du convoyeur et dans le convoyeur incliné. Ce système fonctionne bien lorsque les choux sont

coupés et qu'il reste peu de feuilles extérieures sur la pomme. Dans ces conditions, seul un petit pourcentage de feuilles demeure sur les choux. La difficulté avec le séparateur de feuilles est que les choux sont meurtris lorsqu'ils se heurtent les uns aux autres et lorsqu'ils tombent du séparateur de feuilles sur le convoyeur incliné. On a donc décidé de ne pas utiliser le séparateur de feuilles et de laisser les choux tomber directement sur le convoyeur incliné. Le fait que des feuilles demeurent avec les choux ne semble pas ralentir le travail des personnes qui les mettent dans les boîtes. Ces feuilles tombent à l'extrémité du convoyeur de triage horizontal.

**Convoyeur incliné :** Le convoyeur incliné (Figure 6) reçoit les choux à l'arrière du cueilleur et les achemine vers le convoyeur de triage horizontal (Figure 7). Le convoyeur mesure 90 cm de large et est constitué de barres de métal enduites de caoutchouc (recouvrement en C-Flex autonettoyant) espacées de 5 cm. Une barre sur deux est courbée vers le bas de façon à créer une cavité dans laquelle les choux reposent pendant le transport ascendant. La vitesse optimale est de 29 m/min.



Figure 6 : Vue arrière du convoyeur incliné



Figure 7 : Vue en plan du convoyeur incliné

**Convoyeur de triage horizontal :** Le convoyeur incliné achemine les choux vers un convoyeur de triage horizontal installé de l'autre côté du tracteur (Figures 8 et 9). Ce convoyeur mesure 50 cm de largeur sur 730 cm de longueur. Il transporte les choux et les feuilles vers l'avant du tracteur. Les choux avancent en longeant la remorque transportant les bacs; cette remorque est tirée par un second tracteur. Les travailleurs sur la remorque saisissent les choux et les placent avec soin dans les bacs (Figures 10 et 11). Ceci permet d'effectuer une bonne sélection et de ne garder que les choux de qualité. Selon la vitesse de récolte, trois à cinq personnes doivent prendre place dans la remorque pour effectuer le travail.



Figure 8 : 2<sup>e</sup> tracteur tirant une remorque



Figure 9 : Mise des choux dans les bacs



**Figure 10 : Un travailleur prend un chou.**



**Figure 11 : Choux dans un bac d'entreposage**

**Expérience sur le terrain :** Le prototype fut mis à l'essai sur deux fermes expérimentales d'AAC et sur de nombreuses fermes privées. La récolteuse était habituellement montée sur un tracteur John Deere 6410 à quatre roues motrices. Ce tracteur était assez puissant pour faire fonctionner la récolteuse sans difficulté et pouvait la soulever du sol pour changer de rang à la fin du champ ou la transporter sur la route. Diverses vitesses d'opération ont été testées, soit de 1,7 à 3,7 km/h; les meilleurs résultats ont été obtenus à 2,1 km/h.

**Mesure des chocs :** Un appareil d'enregistrement des chocs (IRD IS 100) fabriqué par Techmark Inc. de Lansing, Michigan a été utilisé pour mesurer le nombre et l'ampleur des chocs subis par les choux durant la récolte. Cet appareil est une sphère d'un diamètre de 8,9 cm et d'un poids de 0,3 kg (Figure 12). Afin que la sphère ait un diamètre et un poids similaires à ceux d'un chou moyen, deux moitiés de sphère ont été conçues pour loger le IRD. Le diamètre extérieur a atteint 17,8 cm et le poids total 3,3 kg (Figure 13). La sphère IRD a été re-calibrée et insérée dans le cueilleur de la récolteuse de choux. Elle a ensuite été filmée à l'aide d'une caméra vidéo tout le long de son parcours dans la machine jusqu'à ce qu'elle soit placée dans un bac d'entreposage par un travailleur, comme c'est le cas pour un chou réel. Cette méthode a permis de faire correspondre chaque choc enregistré par la sphère à une image enregistrée par la caméra vidéo. Les mêmes mesures ont été prises pour les choux cueillis à la main au moyen d'une aide-récolteuse ainsi que pour la récolteuse mécanique avec ou sans séparateur de feuilles.



**Figure 12 : Appareil de mesure IRD**



**Figure 13 : Coque sphérique logeant l'appareil IRD**

Chaque mesure a été prise dix fois. Les essais ont été menés en octobre 2002 et leurs résultats sont fournis au Tableau 1. En moyenne, la cueillette à la main au moyen d'une aide-récolteuse a entraîné 20,7 chocs de 21,3 G, comparativement à 4,7 chocs de 24,3 G pour la récolteuse muni d'un séparateur de feuilles et à 4,0 chocs de 12,0 G pour la récolteuse sans séparateur de feuilles. Puisque l'utilisation de l'aide-récolteuse entraîne 5 fois plus de chocs, elle risque de causer plus de dommages aux choux que la récolteuse. Le fait d'enlever le séparateur de feuilles n'a que légèrement réduit le nombre de chocs (qui est passé de 4,7 à 4,0), mais la force de ces chocs a été réduite de 50 % (de 24,3 à 12,0 G). Il a donc été décidé de ne pas utiliser le séparateur de feuilles sur le prototype final. En outre, la force maximale enregistrée a été beaucoup plus importante (163 G) avec l'aide-récolteuse qu'avec la récolteuse sans séparateur de feuilles (89 G).

Tableau 1 : Nombre de chocs et leur force enregistrés par la sphère IRD

	Nombre moyen de chocs	Force moyenne des chocs (G)	Force maximale des chocs (G)
Aide-récolteuse	20,7 $\sigma$ 6,1	21,3 $\sigma$ 11,0	163,0
Récolteuse avec séparateur	4,7 $\sigma$ 1,4	24,3 $\sigma$ 8,5	108,0
Récolteuse sans séparateur	4,0 $\sigma$ 1,3	12,0 $\sigma$ 7,8	89,0

### Évaluation de la qualité :

Des essais ont été menés pour évaluer les performances du prototype 2002 (Tableau 2). Les choux ont été récoltés dans six fermes différentes. Cela a permis d'évaluer la capacité des choux cueillis au moyen de la récolteuse expérimentale à supporter un entreposage à long terme. Les données présentées au tableau 2 indiquent que les aides récolteuses ont causé plus de dommages aux choux que le prototype. Par ailleurs, même si les pertes de poids enregistrées pour les choux récoltés manuellement étaient plus faibles, il n'y avait pas de différence significative entre les deux méthodes. La comparaison entre la récolte manuelle et la récolte mécanique révèle que cette dernière méthode entraîne plus de dommages aux choux. Il convient de noter, à ce stade-ci, que les valeurs enregistrées aux sites 3 à 6 étaient inférieures à celles des sites 1 et 2. Il est possible que des facteurs comme la configuration des champs, les pratiques agronomiques et même les cultivars peuvent être en cause. Les données présentées ne devraient être comparées que pour un site précis. En effet, la comparaison entre les méthodes de récolte n'est pas valide entre les sites. Il est intéressant de noter que les choux des sites 3 et 5 ont conservé un niveau élevé de qualité, avec une perte de poids relativement faible, jusqu'à la fin de la période d'entreposage de 29 semaines (site 3) et de 23 semaines (site 5).

### Comparaison des trois méthodes de récolte vs efficacité de main-d'œuvre :

En octobre 2003, nous avons comparé trois méthodes de récolte utilisées par six exploitations agricoles privées. Deux exploitations récoltaient à la main, deux autres récoltaient à la main en utilisant une aide-récolteuse et les deux dernières avaient recours à la récolte mécanique. Les producteurs utilisaient leur équipe habituelle et, les deux exploitations qui utilisaient la récolte mécanique étaient propriétaires des machines et les utilisaient depuis au moins trois semaines. Les mesures ont été prises lors de journées de travail « normales », dans des champs



« normaux ». Le tableau 3 présente les données recueillies sur chacune des six exploitations agricoles.

Tableau 2 : Dommages et pertes post-récolte à six sites différents

Sites	Méthodes de récolte	Index des dommages	% de perte de poids après parage	Semaines en entreposage	% de perte de poids après parage	Semaines en entreposage
1	Aide-récolte	4,2	21,0	(16)	22,7	(21)
	Mécanique	4,3	20,5		21,2	
2	Aide-récolte	<b>3,8</b>	24,6	(16)	-	
	Mécanique	<b>4,2</b>	24,5		-	
3	Manuelle	3,4	14,9	(20)	<b>18,7</b>	(29)
	Mécanique	3,2	12,9		<b>13,2</b>	
4	Manuelle	<b>3,9</b>	<b>14,3</b>	(20)	<b>15,9</b>	(23)
	Mécanique	<b>3,7</b>	<b>18,2</b>		<b>26,5</b>	
5	Manuelle	3,5	13,1	(20)	13,5	(23)
	Mécanique	3,7	15,0		17,2	
6	Manuelle	<b>4,0</b>	12,1	(20)	-	
	Mécanique	<b>3,5</b>	12,6		-	

Nota : Les nombres entre parenthèses correspondent à la durée d'entreposage en semaines

Pour chaque site, les données en **gras** sont statistiquement différentes.

Tableau 3 : Données recueillies sur six exploitations agricoles récoltant des choux en 2003

Producteur	Type de récolte	Nombre de travailleurs	Temps de travail	Nombre de bacs récoltés	Nombre moyen de choux par bac	Nombre total de choux récoltés	Choux par jour de 8 heures par personne
1	Mécanique	7	5 h 57	117,5	170,6	20 046	3 850
2	Mécanique	8	8 h 15	245,0	111,5	27 318	3 313
3	Manuelle	10	8 h 20	140,0	141,4	19 800	1 901
4	Manuelle	6	7 h 29	48,0	234,0	11 232	2 003
5	Aide-récolte	10	8 h 10	159,0	201,1	31 972	3 132
6	Aide-récolte	10	5 h 58	108,0	217,0	23 436	3 142

Le nombre de travailleurs différait d'une exploitation agricole à l'autre, tout comme le volume des bacs d'entreposage et la taille des choux. Le nombre total de travailleurs ne comprend pas ceux qui déchargent les bacs à l'entrepôt. Le temps de travail englobe les pauses-café et les autres périodes d'arrêt sur le terrain, mais non les pauses-repas. Comme la durée de la journée de travail variait d'un producteur à l'autre, le tout a été ramené à une journée normale de 8 heures dans la dernière colonne pour fin de comparaison. Ces résultats démontrent que l'utilisation de

machines augmente nettement l'efficacité des travailleurs. Le nombre de choux récoltés par travailleur par jour de 8 heures était le plus bas pour la récolte manuelle avec une moyenne de 1952 choux pour les deux producteurs. Il atteignait une moyenne de 3 137 choux pour les deux producteurs se servant d'une aide-récolteuse et une moyenne de 3 582 choux pour les deux producteurs ayant recours à la récolte mécanique.

**Souci de la sécurité.** Pour la récolte manuelle, les travailleurs doivent travailler en position fléchie, se déplacer sur des sols boueux, entre des rangs de végétation mouillée et souvent par temps froid et pluvieux. Ils doivent couper la tige des choux à l'aide d'un long couteau affilé et des blessures surviennent assez fréquemment. Notre récolteuse mécanique tire les choux du sol, coupe leur tige et les élève jusqu'à un convoyeur de triage horizontal. Les travailleurs se trouvant sur une plate-forme tirée par un second tracteur ramassent les choux sur le convoyeur et les placent avec soin dans des bacs d'entreposage. Ils peuvent utiliser leurs deux mains pour prendre les choux lourds au lieu d'une seule main lors de la cueillette manuelle. Ils ne se penchent que pour placer les choux au fond des bacs d'entreposage. Les travailleurs n'utilisent pas de couteau; les risques de blessures sont ainsi grandement diminués. Les travailleurs n'ont pas à marcher sur des sols boueux puisqu'ils travaillent sur une plate-forme mobile. Ils accomplissent leurs tâches beaucoup plus rapidement et facilement et de façon plus sécuritaire.

## **Conclusion**

De 1999 à 2003, les ingénieurs d'Agriculture et d'Agroalimentaire Canada, en collaboration avec Univerco Hydraulique, ont mis au point une récolteuse de choux. Il s'agit d'une machine à un rang montée sur un tracteur agricole. Le cueilleur représentait le principal défi du projet; il soulève les choux au moyen de deux courroies et les apporte à une lame rotative qui coupe les tiges de façon bien nette. La hauteur de la coupe est assez uniforme d'un chou à l'autre; la lame peut être ajustée pour garder plus ou moins de feuilles avec le chou. Les racines tombent au sol et deux courroies latérales apportent les choux et leurs feuilles à un convoyeur incliné qui transporte les choux vers le convoyeur de triage horizontal monté sur l'autre côté du tracteur. Cinq travailleurs à bord d'une remorque tirée par un deuxième tracteur ramassent les choux et les placent délicatement dans les bacs d'entreposage. Lors de la saison de récolte de 2003, des essais ont été réalisés sur deux exploitations agricoles; en moyenne, une équipe de huit personnes (cinq travailleurs et trois conducteurs) récoltait 3 341 choux par heure. Plus de choux par travailleur ont été récoltés quotidiennement avec le prototype qu'avec la méthode manuelle ou l'aide-récolteuse. La force des chocs mesurés était moindre avec le prototype qu'avec l'aide-récolteuse. Le niveau de meurtrissure des choux récoltés avec le prototype était moindre qu'avec l'aide-récolteuse, mais un peu plus qu'avec la méthode manuelle. Certains cultivars semblaient mieux adaptés à la récolte mécanique que d'autres. Le niveau de meurtrissure des choux récoltés avec le prototype était acceptable pour le marché frais. Des essais d'entreposage à long terme ont été effectués sur six différents sites et ont révélé que les choux récoltés mécaniquement pouvaient être entreposés de façon satisfaisante de quatre à six mois. Il est maintenant possible de récolter mécaniquement des choux de haute qualité puisque cette machine est maintenant commercialisée par Univerco. Depuis la fin du projet, l'équipe de recherche d'Univerco a amélioré les

performances de la récolteuse de choux en tenant compte des suggestions formulées par les producteurs qui ont participé au projet et par ceux qui ont acheté la récolteuse.

### **Remerciements**

Ce projet de recherche a été financé environ à 50 % par Univerco et à 50 % par Agriculture et Agroalimentaire Canada grâce au Programme de partage des frais pour l'investissement en R&D. Nous souhaitons également profiter de l'occasion pour remercier tous les membres de l'équipe du projet de même que les nombreux producteurs de choux qui nous ont accueillis sur leur exploitation agricole pendant le projet.



## *Récolte et séchage des résidus de maïs pour la biomasse*

Philippe Savoie

Agriculture et Agroalimentaire Canada, Centre de recherche et de développement  
sur les sols et les grandes cultures, 2560 boul. Hochelaga, Sainte-Foy, Québec,  
G1V 2J3

### **Introduction**

Le maïs-grain est une importante culture au Canada (tableau 1). Il est semé sur environ 1,2 million d'hectares par année au Canada, dont plus du tiers au Québec (Statistiques Canada, 2005 ; FPCCQ, 2005). La production totale de grain au cours des six dernières années était de 8,65 millions de tonnes en moyenne par an au Canada avec une productivité par unité de surface de 7 t/ha. Au cours des six dernières années, l'Ontario a fourni 63% de la production et le Québec 34%, tandis que le reste (3%) provenait principalement du Manitoba. Depuis deux ans (2003 et 2004), la part du Québec s'est accrue à 38% tandis que celle de l'Ontario a baissé à 60%. La productivité moyenne au Québec dépasse 8 t/ha depuis deux ans.

Tableau 1. Production de maïs-grain au Canada et estimation des résidus potentiels.

Année	Superficie (million ha)	Production (million t)	Productivité unitaire (t/ha)	Résidus estimés (t/ha)	Résidus récoltables (t/ha)
1999	1,17	9,16	7,86	6,43	3,21
2000	1,21	6,95	5,77	4,72	2,36
2001	1,29	8,39	6,48	5,30	2,65
2002	1,30	9,00	6,93	5,67	2,83
2003	1,27	9,59	7,58	6,20	3,10
2004	1,19	8,84	7,46	6,10	3,05
Moyenne	1,24	8,65	7,01	5,74	2,87

En plus de produire du grain, le maïs est reconnu pour fournir une abondante biomasse végétale formée de tiges, de rafles, de feuilles et de spathes. Récemment, divers chercheurs, notamment aux États-Unis, ont quantifié la masse de ces fractions par rapport à la masse du grain (Edens et al, 2002 au Tennessee; Shinnars et al., 2003a au Wisconsin). Les premiers ont estimé que les résidus de maïs représentaient environ 50% de la masse totale de la plante tandis que les deuxièmes ont estimé ce ratio à 43% lors du battage du grain qui est plus tardif au Wisconsin qu'au Tennessee. Dans le tableau 1, on a utilisé un ratio de 45% pour estimer les résidus de maïs

qui seraient ainsi de l'ordre de 7 millions de tonnes par an au Canada (7,01 t de grain/ha x 1,24 Mha x 45%/55%). Les résidus de maïs au Québec seraient de l'ordre de 2,7 Mt/an.

Présentement, ces résidus ne sont guère valorisés autrement qu'en les laissant se décomposer au sol après le battage du grain. Sheehan et al. (2002) ont développé un modèle pour prédire la dégradation et l'érosion des sols causées par un prélèvement des résidus de maïs aux États-Unis. Ils ont estimé qu'on pouvait prélever 40% des résidus dans les champs avec labour conventionnel et 60% des résidus dans les champs sans labour («*minimum tillage*») tout en respectant la limite de perte de sol tolérable selon les normes du Natural Resources Conservation Service du USDA. Au tableau 1, on a estimé que les résidus récoltables au Canada seraient 50% des résidus totaux. On dispose donc d'environ 3,5 Mt/an de résidus de maïs récoltables au Canada (environ 1,35 Mt/an au Québec).

Les utilisations potentielles des résidus de maïs sont nombreuses : 1) comme aliment fibreux pour le bétail, habituellement après un enrichissement à l'ammoniac; 2) pour l'énergie par combustion; 3) pour la production de biocarburants après l'hydrolyse de la fibre en sucres et la fermentation de ces sucres en éthanol; 4) comme fibre courte pour les panneaux de particules agglomérées; 5) comme fibre longue pour les panneaux de bois orienté (OSB). Certaines applications, comme la bioénergie et les particules de bois, requièrent un résidu de maïs assez sec avec une teneur en eau d'environ 12%.

Les résidus de maïs peuvent contenir un niveau d'humidité très variable lors du battage du grain, entre 15 et 75% de teneur en eau selon la saison et la géographie (Edens et al. 2002; Shinnars et al. 2003a). C'est pourquoi on doit envisager des combinaisons de diverses techniques de séchage au champ après le battage et de séchage artificiel après le ramassage pour obtenir un résidu de maïs de qualité satisfaisante comme biomasse sèche.

La présente communication rapporte des travaux de recherche qui se sont déroulés en deux étapes. La première étape consistait à examiner divers scénarios de récolte des résidus de maïs et d'en estimer le coût. Elle a été réalisée en collaboration avec le professeur Shinnars au Wisconsin. On trouvera des résultats plus détaillés dans Shinnars et al. (2003b). La deuxième étape a consisté à sécher artificiellement de grosses balles rectangulaires de résidus de maïs. Elle a été faite au Québec et les détails sont rapportés dans Savoie et Descôteaux (2004). Les pages qui suivent présentent les principaux résultats de ces deux études.

## **Récolte des résidus de maïs**

Plusieurs scénarios peuvent être envisagés pour la récolte des résidus de maïs. Une première procédure consiste à traiter les résidus avec une déchiqueteuse après le battage du grain (figure 1), de râtelier ces résidus après quelques jours de séchage (figure 2) et de ramasser les andains soit avec une presse, soit avec une fourragère (figures 3 et 4).



**Figure 1. Opération de déchiquetage des résidus de maïs après la récolte du grain.**



**Figure 2. Opération de râtelage des résidus de maïs après une période de séchage au champ.**

L'équipement pour appliquer cette séquence d'opérations est déjà disponible. Toutefois cela représente trois passages au champ après le battage, souvent dans des circonstances difficiles tant pour l'opération de la machinerie au champ (sols boueux en novembre) que pour le séchage des résidus au champ à cause du climat froid et relativement humide.



**Figure 3. Ramassage des andains de résidus de maïs avec une presse à balles rondes.**



**Figure 4. Ramassage des andains de résidus de maïs avec une fourragère automotrice.**

Idéalement, on pourrait modifier la moissonneuse-batteuse pour qu'elle récolte en un seul passage le grain et les résidus dans deux trémies ou remorques distinctes. Une modification proposée consiste à arracher les épis et les envoyer vers le batteur et à dévier toutes les tiges et autres résidus vers le côté du nez cueilleur de maïs. Un cylindre hacheur avec souffleur transforme les

résidus en particules fines qui sont projetées dans un camion circulant à côté de la moissonneuse-batteuse (figure 5).

Une autre modification proposée consiste à acheminer les résidus à l'arrière de la moissonneuse-batteuse et de comprimer les résidus, sans les hacher, sous forme de grosses balles (figure 6). Cette dernière configuration requiert une machine très lourde et aura normalement une capacité plus faible que la précédente parce qu'une proportion plus importante de la masse végétale doit passer à travers les mécanismes de battage et vannage dans la batteuse. Ces deux configurations ont l'avantage de ne représenter qu'un seul passage au champ pour la récolte simultanée du grain et des résidus de maïs. Toutefois, les résidus ne peuvent pas sécher au champ et doivent être séchés artificiellement.



**Figure 5. Moissonneuse-batteuse modifiée pour récolter simultanément le maïs-grain et les résidus hachés en seul passage.**



**Figure 6. Moissonneuse-batteuse modifiée pour récolter simultanément le maïs-grain et les résidus sous forme non-hachée en balles.**

Au total, 16 configurations de machines de récolte de résidus de maïs ont été considérées. Les estimations économiques ont été faites à partir des prix au Wisconsin en 2003. Les hypothèses détaillées et les calculs intermédiaires sont expliqués dans Shinnars et al. (2003b). Au tableau 2, on présente les principales combinaisons d'équipement retenues et les coûts estimés pour la récolte, l'entreposage, la manutention et le transport. Le coût total pour des résidus séchés au champ puis récoltés en balles était de 42 \$/t (base sèche) si les balles étaient entreposées à l'extérieur et 47 \$/t avec l'entreposage à l'intérieur. Les principales différences étaient le niveau de pertes d'entreposage (7% à l'intérieur, 15% à l'extérieur) et l'investissement pour l'entreposage (65 \$/m<sup>2</sup> à l'intérieur et 5 \$/m<sup>2</sup> à l'extérieur). Dans les conditions du Wisconsin, il était donc plus économique de ne pas mettre les balles sèches à l'abri. Quand les balles étaient entreposées humides et enrubannées, le coût total de récolte, d'entreposage et de transport était de 45 \$/t. D'une part, les pertes d'entreposage (5%) de même que les pertes au champ étaient plus faibles qu'avec des balles complètement séchées au champ. D'autres part, il fallait ajouter un film plastique de protection et des coûts de transport plus élevés (la teneur en eau était en moyenne de 20% dans les balles sèches et 50% dans les balles humides).

La récolte des résidus de maïs sous forme hachée et humide était moins chère (31 à 36 \$/t) que sous forme de balle (42 à 47 \$/t). Le développement d'une batteuse avec un système de hachage des tiges intégré (figure 5) semble très prometteur avec le coût total le moins élevé (31 \$/t). Les systèmes de récolte de résidus hachés avec deux ou trois passages au champ sont légèrement plus cher (34 à 36 \$/t). Le système à un passage avec presse n'est pas rapporté au tableau 2 ; il coûtait environ 10 \$ de plus par tonne sèche que le système à un passage avec hachage à cause du ralentissement de la batteuse et du coût plus élevée de transport de balles humides par rapport à des particules hachées.

Tableau 2. Coût de récolte, entreposage, manutention et transport de résidus de maïs selon la méthode de récolte et de conservation (\$ U.S. par t MS : Source : Shinnars et al. 2003b).

	Récolte et transport du champ à l'entrepôt	Chargement, entreposage et déchargement	Transport vers l'usine de conversion	Total
Coût des opérations (\$ U.S./t MS)				
<b>Balles sèches</b>				
Entreposées à l'intérieur	30,90	15,40	1,10	47,40
Entreposées à l'extérieur	30,90	10,00	1,10	42,00
<b>Balles humides</b>				
Enrubannées	28,50	14,60	2,10	45,20
<b>Hachés et humides</b>				
Un passage	14,20	14,50	2,10	30,80
Deux passages	17,40	14,50	2,10	34,00
Trois passages	19,00	14,50	2,10	35,60

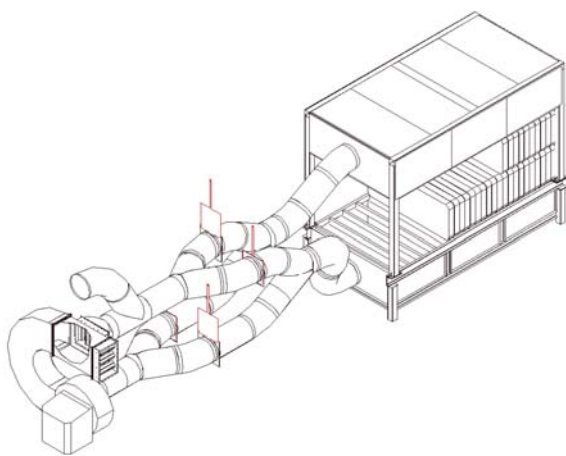
Il est plus simple de récolter les résidus sous forme humide que sous forme sèche parce qu'on élimine la période de fanage au champ. Les coûts sont les plus faibles pour la récolte simultanée au battage avec le hachage (un passage). L'utilisation finale des résidus dictera toutefois si des résidus humides et hachés conviennent.

### Séchage artificiel des résidus de maïs

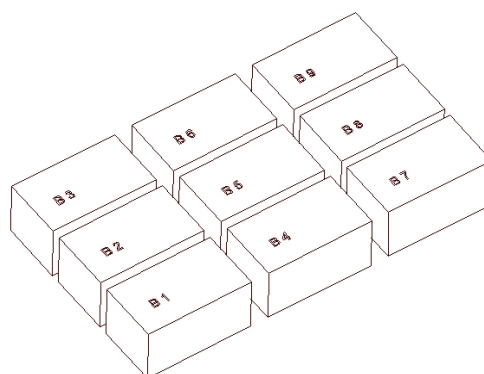
Compte tenu que les résidus de maïs peuvent être trop humides pour certaines utilisations, même après un fanage au champ, on a envisagé le séchage artificiel. Des résidus de maïs ont été récoltés à la fin d'octobre et au début de novembre 2003 près de Nicolet au Québec après le battage du grain. Les résidus ont séché partiellement au champ pendant une période variant de deux à cinq jours. Toutes les balles ont été récoltées sous forme de grosses balles rectangulaires de dimensions de 0,89 m de hauteur, 0,81 m de largeur et 1,52 m de longueur. Les balles étaient enrubannées et transportées à Normandin où est situé un séchoir expérimental de grosses balles. Dans un contexte commercial, les balles ne seraient pas enrubannées mais envoyées directement

au séchoir. Pour cette expérience, l'enrubannage avait pour but de protéger les balles de résidus humides contre l'oxydation et le développement de moisissures. Entre la récolte et le moment du séchage, il s'est écoulé environ trois semaines.

Un séchoir expérimental développé à l'origine pour le séchage artificiel de grosses balles rectangulaires de foin a été adapté pour les balles de résidus de maïs. La figure 7 illustre le séchoir avec des balles placées entre deux plénums. Une caractéristique unique de ce séchoir est sa bi-directionnalité. L'air chaud peut être tiré du haut vers le bas ou du bas vers le haut grâce à un jeu de valves dans les conduites d'air. L'air est chauffé avec un brûleur au gaz propane et est tiré dans le plénum du haut ou dans le plénum du bas selon la direction souhaitée. Après avoir circulé à travers les balles, l'air humide est tiré vers le ventilateur qui crée une succion (pression négative) dans le séchoir. Un système de re-circulation permet de retourner une partie de l'air humide vers le séchoir et d'évacuer le reste de l'air humide à l'extérieur. Le compartiment de séchage est scellé grâce à une jupe de polyéthylène qui entoure les balles et qui est fixée sur toute la périphérie des plénums du haut et du bas. La succion crée une excellente adhérence entre le film plastique et les balles. Le brûleur a une puissance de 102 kW (350 000 BTU/h) et le ventilateur une puissance de 11,2 kW. On peut trouver une description plus détaillée du séchoir et des résultats concernant le séchage du foin dans la communication de Descôteaux et Savoie (2004).



**Figure 7. Schéma du séchoir bidirectionnel utilisé pour sécher les balles de résidus de maïs.**



**Figure 8. Position des balles placées sur une couche dans le séchoir (0,89 m de haut par 2,44 m de large par 4,57 m de long).**

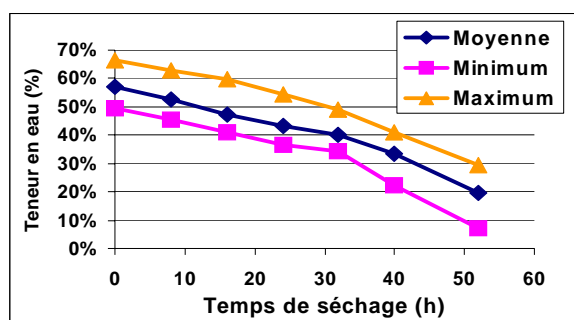
Une légère modification des balles de résidus de maïs par rapport aux balles de foin était leur placement à cause d'une longueur plus courte (1,52 m versus 2,44 m pour les balles de foin). Alors que six balles de foin étaient placées sur le plancher, on plaçait neuf balles de résidus de



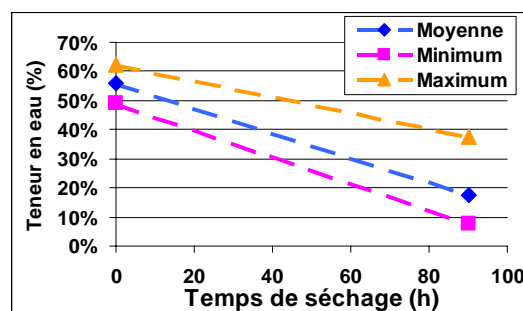
maïs sur le même plancher (figure 8). Cela faisait plus de joints, mais les balles étaient poussées les unes contre les autres de façon à minimiser les fuites d'air durant l'écoulement.

Un premier essai de séchage avec neuf balles de résidus de maïs a été réalisé du 17 au 19 novembre. Les balles ont séché pendant 40 h sans re-circulation d'air à une température d'entrée de 40°C, puis pendant 12 h avec re-circulation de 89% de l'air humide à une température d'entrée de 67°C. Le débit d'air était inversé à toutes les 8 h durant les 40 premières heures et chaque balle était pesée lors de l'inversion du débit (cela exigeait une interruption de séchage d'environ une heure pour les manipulations et pesées). La figure 9 illustre le séchage moyen de ces neuf balles. Les balles humides pesaient au départ en moyenne 282 kg chacune et 152 kg à la fin de la période de 52 h de séchage. La densité des balles variait entre 87 et 137 kg de matière sèche/m<sup>3</sup>, avec une moyenne de 110 kg MS/m<sup>3</sup>. La teneur en eau initiale variait entre 49 et 66%, avec une moyenne de 56%. La teneur en eau finale variait de 7 à 30% avec une moyenne de 20%.

Un deuxième essai de séchage avec 18 balles de résidus de maïs a été réalisé du 20 au 24 novembre. Les balles étaient superposées en deux couches de 9 balles chacune; ainsi la hauteur était le double (1,78 m) par rapport au premier essai (0,89 m). Les balles ont séché pendant 90 h avec re-circulation continue de 89% d'air à une température d'entrée moyenne de 61°C. Le débit d'air a été inversé une seule fois, après 16 h. Chaque balle a été pesée seulement au début et à la fin du séchage ; c'est pourquoi on ne peut qu'interpoler les teneurs en eau intermédiaires entre 0 et 90 h. La figure 10 illustre le séchage moyen de ces 18 balles. Les balles humides pesaient au départ en moyenne 300 kg chacune et 161 kg à la fin de la période de 90 h de séchage. La densité des balles variait entre 94 et 144 kg MS/m<sup>3</sup>, avec une moyenne de 120 kg MS/m<sup>3</sup>. Pour les deux expériences (27 balles), la densité moyenne était de 117 kg MS/m<sup>3</sup>. La teneur en eau initiale de cette deuxième expérience variait entre 49 et 62%, avec une moyenne de 56%. La teneur en eau finale variait de 8 à 38% avec une moyenne de 18%.



**Figure 9.** Teneurs en eau durant le séchage artificiel de 9 balles de résidus de maïs placées sur un niveau (hauteur de 0,89 m).



**Figure 10.** Teneurs en eau durant le séchage artificiel de 18 balles de résidus de maïs placées sur deux niveaux (hauteur de 1,78 m).

Sur la base de ces résultats expérimentaux, on a estimé que l'évaporation moyenne pouvait être de l'ordre de 1,5 kg d'eau/h par balle avec une efficacité énergétique de 30%. On a fait des calculs de simulation des coûts de séchage de résidus de maïs selon la teneur en eau à la récolte entre 20 et 55% avec comme objectif d'atteindre une teneur en eau finale moyenne de 12%. Au tableau 3, on observe que le temps total de séchage des balles de 20% de teneur en eau à la récolte jusqu'à l'objectif de 12% serait de 10,4 h. Si les balles sont très humides à 55% de teneur en eau, il faudrait prévoir 100 h de séchage artificiel. De même, l'énergie de chauffage varierait entre 263 et 2514 kW•h/t MS selon la teneur en eau initiale. Les charges variables qui représentent essentiellement le coût de l'énergie de chauffage et de l'énergie de ventilation ont été estimées pour deux systèmes de chauffage, soit au gaz naturel (coût supposé de 8,33 \$/GJ), soit avec un système de pompe à chaleur fonctionnant à l'électricité (coût supposé de 16,77 \$/GJ ou 0,06 \$/kW•h). Les charges variables du système avec brûleur au gaz ont varié entre 10 et 98 \$/t MS; les charges variables du système avec pompe à chaleur ont varié entre 6 et 56 \$/t MS. Ce dernier système a des charges variables plus basses à cause de sa grande efficacité énergétique à fournir de la chaleur. Toutefois, les coûts d'investissement et d'amortissement plus grands de la pompe à chaleur, qui ne sont pas comptabilisés ici, pourraient annuler la différence de coût entre les deux systèmes. Ce qu'il faut retenir, c'est surtout le fait que le coût énergétique sera élevé dans les deux cas et supérieur à 10 \$/t MS aussitôt que la teneur en eau à la récolte sera supérieure à 20-25%. Or la plupart des applications envisagées pour utiliser la biomasse végétale basent leur rentabilité sur des coûts d'approvisionnement assez bas, généralement inférieurs à 50 \$/t MS, et pour lesquels on ne peut guère envisager une opération de séchage artificiel plus onéreuse que 10 à 20 \$/t MS (DiPardo, 2002).

Tableau 3. Estimations du temps de séchage, de l'énergie et des charges variables (d'énergie seulement) pour sécher artificiellement des balles de résidus de maïs jusqu'à 12 % de teneur en eau finale avec un brûleur ou une pompe à chaleur (\$ CA/t MS ; source : Savoie et Descôteaux, 2004).

Teneur en eau à la récolte (% base sèche)	Temps de séchage (h)	Énergie de chauffage (kW•h/t MS)	Énergie de ventilation (kW•h/t MS)	Charges var. avec brûleur (\$/t MS)	Charges var. avec pompe à chaleur (\$/t MS)
20	10,4	263	39	10,24	5,86
25	18,1	456	68	17,75	10,16
30	26,8	676	101	26,33	15,07
35	36,9	931	139	36,23	20,74
40	48,7	1228	183	47,79	27,36
45	62,6	1578	235	61,44	35,17
50	79,3	1999	297	77,82	44,55
55	99,6	2514	374	97,85	56,02

Il semble donc peu probable qu'on puisse envisager la récolte de quantités importantes de résidus de maïs secs au Québec et dans l'est du Canada à un coût en-dessous de la cible de 50 \$/t MS. En effet, on a vu que la récolte, l'entreposage et le transport de résidus coûteront entre 31 et 47 \$



(U.S.)/t MS selon les techniques de récolte utilisées. Le séchage artificiel pourrait être réalisé à moins de 10 \$/t MS seulement si les résidus sont séchés au champ jusqu'à 20% avant le ramassage. Toutefois, une expérience au Québec montrait que la teneur en eau à la récolte était en moyenne de 56% après 2 à 5 jours de séchage. Des expériences aux États-Unis montrent qu'il faut parfois trois semaines de séchage avant d'abaisser la teneur en eau des résidus au champ jusqu'à 20%. Cela semble cependant difficile à réaliser au Québec à cause de la récolte plus tardive du grain de maïs et de la période froide et humide, donc peu propice au séchage au champ, suite à la récolte du grain.

## **Conclusions**

Deux études ont été menées pour évaluer divers systèmes de récolte des résidus de maïs et leur séchage artificiel en vue d'une utilisation comme biomasse industrielle, que ce soit pour de l'énergie ou pour fabriquer des bio-produits comme des panneaux agglomérés. La récolte de résidus de maïs après le battage du grain requiert des opérations supplémentaires au champ comme le déchiquetage, le râtelage et le pressage ou le hachage. Ces opérations ont l'avantage de laisser les résidus au champ pour un séchage naturel et l'abaissement de la teneur en eau. Une autre possibilité est la récolte simultanée du grain et des résidus, et leur séparation directement au champ. Toutefois, les résidus auront alors une teneur en eau élevée qui ne convient pas à certaines utilisations de la biomasse. Les coûts de récolte, transport et entreposage des résidus de maïs sont estimés au minimum à 31 \$ (U.S.)/t MS pour un système à un passage avec hachage, et jusqu'à 47 \$ (U.S.)/t MS pour un système à passages multiples et ramassage en balle.

Dans un climat frais et humide comme celui du Québec et de l'Ontario où la production de maïs est concentrée pour le Canada, il est difficile d'envisager un séchage naturel complet des résidus au champ. Le séchage artificiel des résidus sous forme de grosses balles est techniquement possible, bien qu'il y aura des variations de teneurs en eau finales à l'intérieur des produits. Économiquement, les charges variables du séchage artificiel ont été estimées entre 6 et 100 \$/t MS selon la teneur en eau à la récolte, la technologie de chauffage et la source d'énergie utilisée. De plus, ce coût n'inclut pas les charges fixes qui hausseraient encore le coût total. Donc, en pratique il sera difficile de livrer des quantités importantes de résidus de maïs secs à un prix inférieur à 50 \$/t MS, une cible parfois mentionnée par le secteur de la biomasse. Il sera toutefois possible d'envisager des livraisons de résidus si l'industrie peut utiliser un produit humide qui ne nécessite pas de séchage artificiel.

## Remerciements

Un soutien financier a été obtenu du programme fédéral de recherche et de développement sur l'énergie (PERD) pour l'identification de nouveaux systèmes de récolte et d'entreposage de la biomasse. Le volet séchage a bénéficié d'une collaboration avec le Centre de recherche et de développement de l'agriculture du Cégep d'Alma qui était responsable de la récolte des balles de résidus de maïs. L'auteur remercie M. Sébastien Descôteaux qui a développé le séchoir bidirectionnel et réalisé la cueillette de données sur le séchage au champ.

## Références

- Descôteaux, S. and P. Savoie. 2004. Bi-directional dryer for mid-size square hay bales. ASAE/CSAE Paper No. 041135. St. Joseph, Mich.: ASAE.
- DiPardo, J. 2002. Outlook for Biomass Ethanol Production and Demand. Site du U.S. Department of Energy. <http://www.eia.doe.gov/oiaf/analysispaper/biomass.html>
- Edens, W.C., L.O. Pordesimo and S. Sokhansanj. 2002. Field drying characteristics and mass relationships of corn stover fractions. ASAE Paper No. 026015. St. Joseph, MI: ASAE.
- FPCCQ. 2005. Offre et demande du maïs au Québec en tonnes métriques. Fédération des producteurs de cultures commerciales du Québec. <http://www.fpccq.qc.ca/> (Statistiques).
- Savoie, P. et S. Descôteaux. 2004. Artificial drying of corn stover in mid-size bales. Canadian Biosystems Engineering 46: 2.25-2.34.
- Sheehan, J., A. Aden, K. Paustian, K. Killian, J. Brenner, M. Walsh and R. Nelson. 2002. Is ethanol made from corn stover a sustainable transportation fuel? Draft report. 26 pages. Golden, CO: National Renewable Energy Laboratory.
- Shinners, K.J., B.N. Binversie and P. Savoie. 2003a. Harvest and storage of wet and dry corn stover as a biomass feedstock. ASAE Paper No. 036088. St. Joseph, MI: ASAE.
- Shinners, K.J., B.N. Binversie and P. Savoie. 2003b. Whole-plant corn harvesting for biomass: comparison of single-pass and multiple pass harvest systems. ASAE Paper No. 036089. St. Joseph, Mich.: ASAE.
- Statistique Canada. 2005. Grandes cultures et cultures spéciales. Canada en statistiques, Agriculture, Cultures. [http://www.statcan.ca/francais/Pgdb/prim11a\\_f.htm](http://www.statcan.ca/francais/Pgdb/prim11a_f.htm)

## ***Détermination du flot d'air et de fourrage dans le système de soufflerie d'une fourragère traînée***

Dennis P. Lammers et Martin Roberge

Department of Agricultural and Bioresource Engineering, University of Saskatchewan, Canada.  
57 Campus Drive, College of Engineering, Saskatoon, Saskatchewan.

### **SOMMAIRE**

L'objectif de ce projet était d'améliorer la distance de projection d'une fourragère traînée en modélisant le flot de fourrage dans le souffleur et dans la chute pour prévoir l'énergie spécifique et l'efficacité du système de soufflerie. Le flot d'air fut modélisé en utilisant le logiciel Fluent et la méthode CFD (Computational Fluid Dynamics). Le modèle d'écoulement d'air fut validé en termes de vitesse d'air et de patron d'écoulement dans la soufflerie. Le modèle du flot de fourrage dans la chute fut modélisé analytiquement en tenant compte de la friction entre le fourrage et la surface de la chute et la résistance aérodynamique lorsque le produit quitte la chute. À partir de ces modèles, deux prototypes de chutes furent développés dans le but d'améliorer leur distance de projection. Les tests de validation démontrèrent que le modèle avait sous-estimé la capacité de projection des deux prototypes de 2% en moyenne.

## ***Modélisation d'un nez cueilleur non-sélectif de fourragères traînées***

Philippe Nieuwenhof et Martin Roberge

Department of Agricultural and Bioresource Engineering, University of Saskatchewan, Canada.  
57 Campus Drive, College of Engineering, Saskatoon, Saskatchewan.

### **SOMMAIRE**

Un prototype de nez cueilleur à maïs pour une fourragère traînée fut développé. Ce nez cueilleur est non-sélectif grâce à sa capacité de récolter sans être contraint à l'orientation ou la largeur des rangs. Il a été modélisé pour mieux comprendre les sources de demande de puissance. Chaque étapes du mécanisme de récolte a été modélisé sous la forme d'équation analytique, incluant la coupe, la convergence et le transport des plants de maïs jusqu'au rouleaux d'alimentation de la fourragère. Le modèle a été validé à partir de données de puissance obtenues au champ et par des mesures de propriétés des tiges de maïs en laboratoire, telles l'énergie spécifique de coupe et la résistance en compression. Grâce au développement du modèle de puissance, des paramètres mécaniques ont été identifiés et des modifications au design on été suggérées. Une seconde génération du prototype a ensuite été développée en prenant compte de ces considérations telles la diminution de la vitesse des disques de coupe, un plus grand écartement des chaînes convoyeuses et la réduction du nombre de pièces du système d'entraînement. De nouveaux essais au champ ont permis d'observer une diminution de près de 30% des besoins de puissance en comparaison avec le prototype de première génération, dans des conditions semblables.

## ***Méthodes de modélisation de machineries agricoles (caméra haute-vitesse et logiciel d'analyse dynamique)***

Martin Roberge

Department of Agricultural and Bioresource Engineering, University of Saskatchewan, Canada.  
57 Campus Drive, College of Engineering, Saskatoon, Saskatchewan.

### **SOMMAIRE**

Cette présentation a pour but de décrire certaines méthodes de modélisation utilisés pour prévoir l'énergie spécifique, l'efficacité et la qualité d'une opération mécanique effectuée par une machine agricole. Des modèles analytique, numérique, statistique (régressions) et stochastique sont validés à l'aide de divers équipements électroniques et de caméras digitales à haute-vitesse. Divers logiciels de modélisation seront décrits, notamment, ceux qui permettent de prévoir le comportement statique et dynamique des véhicules en mouvement, le mouvement de sol autour d'un outil aratoire, le flot de liquide biologique dans des conduits sous haute-pression, le flot de céréales dans une moissonneuse-batteuse et le flot de fourrage dans une faucheuse, une presse et une fourragère.

## ***Modélisation et validation du flot de fourrage dans une grosse presse à balles rectangulaires***

Tyler Remoué et Martin Roberge

Department of Agricultural and Bioresource Engineering, University of Saskatchewan, Canada.  
57 Campus Drive, College of Engineering, Saskatoon, Saskatchewan.

### **SOMMAIRE**

Dans les quatre dernières décennies, les fourrages sont graduellement devenus une contribution majeure au marché d'exportation Canadien. Les produits de fourrage sont désormais vendus sous forme de pastilles, cubes ou balles doublement comprimées à des pays tels que le Japon, la Corée du sud, les États-Unis et Taïwan. L'homogénéité de la densité du produit est un facteur important pour rassurer les acheteurs de sa qualité. La densité finale des balles doublement comprimées dépendra de la densité initiale de la balle. Ce projet a pour but d'établir un modèle décrivant le flot de fourrage ou de paille à partir de la chambre de pré-compression vers la chambre de compression (avant la compression en galettes) en utilisant une grosse presse à balle carrées (New Holland BB960). Le modèle développé a été utilisé pour déterminer la densité du foin ou de la paille à l'intérieur des balles. L'écoulement du produit fut filmé avec une caméra vidéo digitale et une caméra à haute vitesse de façon à mesurer la pression du piston dans la partie inférieure et supérieure de la balle. Les essais ont été effectués avec de la luzerne, de l'herbe et de la paille. Les conditions de fourrage et de paille Européennes et Nord-Américaines ont été comparées.



23 mars 2005  
15 :25 à 17 :00

## Session 11 : Propriétés des aliments

Modérateur : J. Tatibouët, CNRC



## ***Sweet corn, a produce difficult to cool down***

Patrick Cortbaoui<sup>1,2</sup>, Clément Vigneault<sup>1,2</sup>, G.S.Vijaya Raghavan<sup>2</sup>,  
Marie-Thérèse Charles<sup>1</sup>, Bernard Goyette<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Centre de Recherche et Développement en Horticulture,  
Agriculture et Agroalimentaire Canada, 430, Boul. Gouin,  
Saint-Jean-sur-Richelieu, Québec, Canada, J3B 3E6

<sup>2</sup>Bioresource Engineering Department,  
Macdonald Campus, McGill University, 21,111 Lakeshore,  
Sainte-Anne de Bellevue, Québec, Canada, H9X 3V9

### **SOMMAIRE**

The postharvest conservation of food quality and quantity is an important dimension to increase world food supplies in a most effective manner. Sweet corn is one of the most difficult horticultural crops to precool. Currently available precooling systems are not as efficient to cool down sweet corn. Though, in this study, some parameters such as positioning of the produce and cooling fluid flow rate of vacuum cooling, forced-air cooling and hydro-cooling were studied and compared together in order to develop the most efficient method or hybrid-method in terms of cost, energy, quality, rapidity and feasibility. Measurements of uniformity of cooling through the mass of produce treated, cooling rate, weight loss, power and energy demands, and quality evaluation before and after each treatment, and after some storage periods were done successfully. Operating parameters, such as fluid temperature, fluid flow rate, position of the produce, were compared based on corn cooling rates and process efficiencies.

## ***Evaluation of phase transition in fresh potato at high pressures (HP) using HP calorimetry***

Songming Zhu<sup>1</sup>, Hosahalli Ramaswamy<sup>1</sup>, and Alain Le Bail<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Food Science and Agricultural Chemistry, Macdonald Campus, McGill University, Ste Anne de Bellevue, Quebec, H9X 3V9, Canada.

<sup>2</sup>GEPA-ENITIAA (UMR CNRS 6144-SPI),  
Rue de la Géraudière BP 82225, F-44322 Nantes Cedex 03, France

Songming Zhu<sup>1</sup> <[songming.zhu@mail.mcgill.ca](mailto:songming.zhu@mail.mcgill.ca)>

Alain Le Bail<sup>2</sup> <[lebaill@enitiaa-nantes.fr](mailto:lebaill@enitiaa-nantes.fr)>

Hosahalli S. Ramaswamy<sup>1</sup> <[hosahalli.ramaswamy@mcgill.ca](mailto:hosahalli.ramaswamy@mcgill.ca)>

Address correspondence to: Dr. Hosahalli Ramaswamy

### **ABSTRACT**

High-pressure (HP) calorimetry was used to investigate phase transition behavior of potato at elevated pressures. Fresh potato samples (about 0.5 g, vacuum-packaged in polyethylene pouches) were tested through pressure scan (P-scan, 0.3 MPa min<sup>-1</sup>) at set temperatures (−5, −7, −10, −15, −18 °C). The relationship between phase-transition temperature ( $T$ ) of frozen potato and the weighted-average pressure during the phase change period ( $\bar{P}_{1-2}$ ) was found to be  $T = -1.78 - 0.0637\bar{P}_{1-2} - 0.000240\bar{P}_{1-2}^2$  ( $R^2 = 0.99$ ,  $n = 10$ ). It was observed that phase change temperature was depressed in potato than that in pure water. The latent heat of phase transition was also determined with P-scan tests. Regression analysis resulted in an empirical relationship between pressure and latent heat in fresh potato, i.e.,  $L = 200 + 0.543\bar{P}_{1-2} - 0.0028\bar{P}_{1-2}^2$  ( $R^2=0.84$ ,  $n=10$ ). It is quite clear that latent heat in fresh potato under pressure is much lower as compared to that of pure water. HP calorimetry is a powerful technique for phase-transition characterization in real foods during HP process.

## ***Effect of plasticizer concentration and water activity on functional properties of pectin films***

Neda Maftoonazad<sup>1</sup> Hosahalli Ramaswamy<sup>2</sup>, and Michelle Marcotte<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Department of Food Science and Agricultural Chemistry,  
Macdonald Campus of McGill University ([nmafto@po-box.mcgill.ca](mailto:nmafto@po-box.mcgill.ca));

<sup>2</sup> Department of Food Science and Agricultural Chemistry,  
Macdonald Campus of McGill University ([hosahalli.ramaswamy@mcgill.ca](mailto:hosahalli.ramaswamy@mcgill.ca));

<sup>3</sup> Agriculture and Agri Food Canada ([marcotte@agr.gc.ca](mailto:marcotte@agr.gc.ca))

Address correspondence to: Dr. Hosahalli Ramaswamy

### **ABSTRACT:**

Edible films based on pectin were developed. The mechanical properties (tensile strength, elongation at break, and modulus of elasticity), water vapor permeability (WVP) and glass transition temperature ( $T_g$ ) were examined for pectin films as a function of sorbitol concentration and RH. Also the effect of water activity and sorbitol on moisture adsorption isotherm and  $T_g$  of films was studied. Different models were tried to study the effect of different water activities on pectin films, sorbitol and pectin powder. Based on changes observed in adsorption behavior, sorbitol was strongly interacted with pectin polymers. The lowest effective sorbitol concentration was 30% (pectin dry weight basis); below this concentration, the films tended to be brittle and difficult to handle, whereas films with more than 60% sorbitol (pectin dry weight basis) tended to be sticky. Increasing RH or addition of sorbitol to pectin films increased elongation at break, but decreased tensile strength, modulus of elasticity and  $T_g$ , and increased WVP of the films.

## ***Antifreeze Proteins from Winter Rye and Frozen Foods***

C. Moresoli<sup>1,2\*</sup> and M. Griffith<sup>2</sup>

Department of Chemical Engineering<sup>1</sup> and Department of Biology<sup>2</sup>, University of Waterloo,  
Waterloo (ON), Canada, N2L 3G1.

\* Email: [cmoresol@cape.uwaterloo.ca](mailto:cmoresol@cape.uwaterloo.ca), Tel: 519 888 4567 ext 5254

Antifreeze proteins (AFPs) are proteins that have the ability to modify the growth of ice, resulting in the stabilization of ice crystals over a defined temperature range and in the inhibition of the recrystallization of ice. Antifreeze proteins have been identified in a wide range of organisms, including plants, fungi, bacteria, fish and invertebrates. Antifreeze proteins may improve the quality of foods that are eaten while frozen by inhibiting recrystallization and maintaining a smooth texture. Alternatively, for foods that are frozen only for preservation, AFPs may inhibit recrystallization during freezing, storage, transport and thawing, thus preserving food texture by reducing cellular damage and also minimizing the loss of nutrients by reducing drip. In this presentation, the recovery, characteristics and stability of antifreeze proteins produced by cold acclimated winter rye will be discussed in the context of their use in frozen food products.

## ***Analyse des mécanismes physico-chimiques responsables du gonflement et de l'alvéolation d'une pâte céréalière modèle lors de sa cuisson***

Michèle Marcotte<sup>1</sup>, David Lachkar<sup>2</sup>, Bertrand Broyart<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Agriculture and Agri-Food Canada,  
Food Research and Development Centre, St. Hyacinthe, Québec, Canada;

<sup>2</sup>Institut des Sciences et Techniques des Aliments de Bordeaux,  
Université Bordeaux 1, Bordeaux, France;

<sup>3</sup>École Nationale Supérieure des Industries Agroalimentaires (ENSIA), Massy, France.

### **ABSTRACT :**

Située en aval des opérations unitaires de pétrissage et de repos éventuel, l'opération de cuisson joue un rôle essentiel dans le procédé global de fabrication des produits céréaliers. Elle permet de conférer au produit fini une série importante de propriétés technologiques et d'usage (teneur en eau, dimensions, densité, couleur, structure interne, goût). Durant la cuisson, les constituants biochimiques de la pâte subissent de nombreuses transformations physico-chimiques (réactions biochimiques, phénomènes de transition de phases, modifications des propriétés structurales des éléments constitutifs de la pâte etc.). Le résultat de ces transformations est appréciable au niveau macroscopique du produit (coloration de la surface du produit, gonflement global du produit lors de la cuisson, formation de la structure poreuse du produit fini à partir d'une pâte liquide viscoélastique). L'objectif de l'étude proposée est d'analyser les principaux facteurs influençant les mécanismes responsables du gonflement du produit lors de la cuisson et de la création de la structure poreuse caractéristique des produits céréaliers cuits. Le produit retenu dans le cadre de cette étude est un produit modèle de formulation simplifiée (sucre, farine, eau, matières grasses végétales, poudre de lait écrémé, poudre de blanc d'œuf, sel et agents levants chimiques) recommandé par l'*American Association of Cereal Chemists (AACC)* et représentatif des produits de type gâteaux nord-américains. Des analyses en cours de cuisson ont été menées afin de déterminer les profils de température à l'intérieur d'un gâteau et d'évaluer les cinétiques d'expansion de volume. Des mesures ont été effectuées sur les gâteaux cuits afin de déterminer l'influence de la teneur en agents levants et de la température de cuisson sur le volume, la couleur et la texture des gâteaux. Les résultats obtenus ont montré qu'une trop forte teneur en agents levants n'a pas forcément d'effet significatif sur l'expansion de volume. Une diminution de la fermeté est observée. Par contre, cela provoque une diminution des qualités finales du gâteau telles qu'une hausse de la coloration de surface et une déformation des gâteaux. Il a été montré qu'une élévation de température faible provoque une hausse de l'expansion de volume. Par contre, une augmentation trop importante de la température de cuisson entraîne une baisse du volume final, ainsi qu'une diminution des qualités finales du gâteau telles qu'une coloration intense de la surface et une hausse de la fermeté.

# *Les propriétés viscoélastiques des pâtes mixtes de blé, de sorgho et de soja*

**Vijaya Raghavan, Arun Kulamarva, Yvan Gariépy, Michael Ngadi**

Université McGill, Département de génie des bioressources,  
Ste-Anne-de-Bellevue, Québec H9X 3Z5  
([vijaya.raghavan@mcgill.ca](mailto:vijaya.raghavan@mcgill.ca))

## **SOMMAIRE**

Le sorgho est une céréale sans gluten qui est cultivée abondamment dans les régions tropiques. Quoique surtout utilisé pour l'alimentation animale en occident, son utilisation dans la préparation des produits de boulangerie pourrait s'avérer avantageuse pour les personnes ayant une intolérance au gluten. Par contre, les pâtes à base de farine de sorgho sont friables, peu élastiques et difficiles à travailler. Les résultats de l'étude entreprise pour étudier les propriétés viscoélastiques des pâtes contenant différentes proportions de farines de blé, de sorgho et de soja, et à différentes teneurs en eau, sont présentés. Les caractéristiques rhéologiques ont été mesurées à l'aide d'un appareil d'essai universel et d'un rhéomètre dynamique.

## **INTRODUCTION**

En Inde près de 70% du sorgho produit est consommé sous forme de roti, un pain plat sans levain. Les rotis doivent être pétris et préparés à la main car les pâtes à base de farine de sorgho sont friables, peu élastiques et difficiles à travailler empêchant ainsi la mécanisation de la préparation. Dans un premier temps, une étude a été effectuée pour déterminer les effets de la teneur en eau et de la température de l'eau utilisée lors de la préparation des pâtes à base de sorgho sur ces propriétés rhéologiques. Dans un second temps, nous avons cherché à déterminer si l'incorporation de farine de blé ou de soja permettrait d'améliorer ces propriétés afin de permettre la mécanisation de la préparation des pâtes.

## **MATÉRIELS ET MÉTHODES**

### Préparation des pâtes

Les échantillons de pâtes ont été mélangés et pétris à la main en utilisant 50 g de farine de sorgho et différentes quantités d'eau (35, 40, 45 et 50 g). L'effet de la température de l'eau a été étudié en utilisant de l'eau soit à 22 C ou à 100 C. L'incorporation de farine de blé et de soja a été évaluée en substituant 25% de la masse de farine de sorgho utilisée par l'une ou l'autre de ces dernières. Cette étude a donc nécessité la préparation de 24 pâtes différentes, en triplicata, pour un total de 72 préparations.

### Propriétés rhéologiques

La fermeté, la cohésion et le caractère collant ont été mesurés en compression à l'aide d'un appareil universel d'essais Instron 4502 et calculés en utilisant les méthodes de Peleg (1976) et de Bourne (1978). Le même appareil a été employé pour déterminer la viscosité biaxiale

apparente d'extension (apparent biaxial extensional viscosity, ABEV) en utilisant la méthode de Bagley et Christianson (1986) et une période de relaxation de 60 sec.

Les propriétés rhéologiques dynamiques ont été mesurées à l'aide d'un rhéomètre dynamique TA Instruments AR2000. L'espacement entre les plaques était de 2 mm. Les lectures dynamiques ont été prises à une valeur constante de l'effort de cisaillement de 6 Pa à des fréquences d'oscillation allant de 0,1 à 100 Hz. Toutes les lectures ont été effectuées à 25 C. Les propriétés enregistrées étaient le modulus de conservation ( $G'$ ) caractérisant l'élasticité de la pâte et le modulus de perte ( $G''$ ) rattaché au caractère visqueux.

## RÉSULTATS

Pour la plupart les pâtes étudiées, l'augmentation de la teneur en eau a été accompagnée par une réduction de la fermeté et des valeurs ABEV. C'est ainsi que les valeurs ABEV et de fermeté des pâtes de sorgho faites avec 35 ml d'eau à 22 C étaient de 650 kPa-s et 230 N comparativement à 120 kPa-s et 140 N pour les pâtes faites avec 50 ml d'eau. Dans la plupart des cas, les pâtes les plus fermes étaient les pâtes mixtes de sorgho et soja. L'utilisation d'eau bouillante dans la préparation a permis d'amollir les pâtes de sorgho et tout particulièrement aux teneurs en eau les plus élevées.

De façon générale, il a été observé que la cohésion des pâtes augmentait légèrement avec l'augmentation de la teneur en eau. L'augmentation la plus marquée a été constatée pour les pâtes de sorgho faites avec de l'eau à 100 C. Pour ces dernières, la cohésion est passée de 0,1 à plus de 0,7 pour les échantillons faits avec 35 ml et 50 ml d'eau respectivement. Ceci serait probablement dû à la gélatinisation partielle de l'amidon contenu dans la farine de sorgho. Une tendance similaire (mais beaucoup moins prononcée) a été observée avec les pâtes mixtes.

Pour les pâtes faites avec de l'eau à 22 C, on a observé que le caractère collant augmente avec la teneur en eau pour les pâtes de sorgho, qu'il diminue pour les pâtes mixtes sorgho-blé et qu'il semble plafonner au tour de 38 ml d'eau pour les pâtes de sorgho-soja. L'utilisation d'eau à 100 C a permis de réduire de façon marquée le caractère collant des pâtes mixtes de sorgho-blé.

L'analyse des propriétés rhéologiques dynamiques nous a permis de confirmer que la fermeté des pâtes diminuait (diminution des valeur  $G'$ ) avec l'augmentation de la teneur en eau. On a observé que les valeurs de  $G'$  et  $G''$  augmentaient avec la fréquence d'oscillation. De plus, des valeurs plus élevées de  $G'$  et de  $G''$  ont été mesurées pour les pâtes mixtes indiquant que ces pâtes ont de meilleures caractéristiques viscoélastiques que les pâtes faites exclusivement de sorgho.

## CONCLUSIONS

Dans cette étude, il a été démontré que les propriétés rhéologiques des pâtes de sorgho sont les meilleures lorsqu'on mélangeait des quantités égales de farine et d'eau. De plus, l'utilisation d'eau chaude a permis d'améliorer les caractéristiques viscoélastiques des pâtes de sorgho.

L'incorporation de farine de blé ou de soja a aussi permis d'améliorer les caractéristiques des pâtes et de meilleurs résultats ont été obtenus en utilisant de l'eau à 22 C.

Des études supplémentaires sont requises pour déterminer lequel des éléments de solutions étudiés sera le plus approprié pour permettre la mécanisation de la préparation des rotis.

### **Remerciements**

Les auteurs remercient Dr. Shashidhar et Dr. Yenagi pour leur contribution à l'étude. Cette étude a été réalisée avec le support financier de l'Agence canadienne de développement international.

### **Références citées**

Bagley, E.B. and Christianson, D.D. 1986. Response of commercial chemically leavened doughs to uniaxial compression. In: Fundamentals of Dough Rheology, 27-36. St.Paul, MN: American Association of Cereal Chemists.

Bourne, M.C. 1978. Texture profile analysis. Food Technology 32: 62-66, 72.

Peleg, M. 1976. Texture profile analysis parameters obtained by an Instron universal testing machine. Journal of Food Science 41: 721-722.





23 mars 2005  
15 :25 à 17 :00

## Session 12 : Désactivation microbiologique

Modératrice : C. Ratti, SGA

## ***Application of the Hurdle Concept: Acidification and/or Addition of Antimicrobials to Reduce the Required Thermal Treatments of Foods***

Stefan Grabowski<sup>1</sup>, Michèle Marcotte<sup>1</sup>, Gertjan Blom<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Agriculture and Agri-Food Canada,

Food Research and Development Centre, St. Hyacinthe, Québec, Canada;

<sup>2</sup>University of Life Science, Wageningen University, Wageningen, The Netherlands

### **ABSTRACT:**

Two hurdle approaches were studied to replace thermal sterilization processes: 1) a mild heat treatment after acidification to a pH of 4.5 and 2) a mild heat treatment after moderate acidification in combination with the addition of nisin. According to literature, both are known to inhibit the growth of *Clostridium botulinum*. The impact of acidification on the taste of a typical chicken broth and Alfredo-Sauce was evaluated. Acidification of the chicken broth to a pH of 4.5 was found not to be acceptable (preliminary tests with three panellists). However, a mild acidification to pH of 5-5.5 with the addition of nisin was a viable option. Preliminary tests with Alfredo-Sauce showed that acidification to a pH 4.5 could be feasible if a mild acid like GDL or lactic acid was used. A ranking test showed that panellists (30) were able to discriminate sauces acidified to pH 5 with lactic acid or GDL from the reference, but that the impact on the taste was mild. Some panellists even preferred the moderately acidified sauces. An accelerated shelf-life test demonstrated the effectiveness of nisin to prevent the spoilage of Alfredo-Sauce, when used in combination with a mild heat treatment (30 min 86°C). The effectiveness of nisin was enhanced by a moderate acidification to a pH 5. Samples containing 1000 IU / g did not spoil after 40 days. A methodology was proposed to predict the acidification kinetics of solid food particles, which cannot be acidified instantaneously. It is based on the Fickian 2<sup>nd</sup> law of mass diffusion. It was assumed that the difference in acid concentration determines the mass flux and that the acid uptake can be related to particle pH by a 2<sup>nd</sup> degree or a 3<sup>rd</sup> degree polynomial. The approach proved to be partly successful. Acid diffusion into potato or meat particles was adequately described by the Fick's 2<sup>nd</sup> law of mass diffusion and the acid uptake was related to average particle pH accurately by polynomials in the case of lactic acid and acetic acid. The Matlab model allowed some good predictions of the average particle pH of cooked pork as a function of time. However, the methodology has its limitations. Expansion of cooked pork meat pieces became important the organic acid solution of a pH < 2.9 and titration measurements of the solution were slightly influenced by the buffering effect of the product solutes at pH 3.1. A present, the model allows rough estimations of  $t_{min}$ , but if more accurate predictions of  $t_{min}$  are required the centre pH and the centre, acid concentration will have to be measured. For fast acidification of meat and potato (< 30 min.), high acid concentrations (>> 0.07 M), temperatures above room temperature (e.g. 42-67°C) and small food particles (< 1 cm) should be used. Given these predicted results of the acid concentration at the centre of the particles, a separate acidification of solid particles and the homogeneous part of the food is recommended. The maximal acid concentration for acidification of solid particles should be investigated from a sensorial and textural point of view, especially for meat particles. Challenge tests with *Clostridium botulinum* strains should be performed to confirm the safety of nisin.

## ***Manipulation de pathogènes dans une usine pilote de niveau 2 pour la validation des procédés de transformation de la viande***

Michèle Marcotte\*<sup>1</sup>, Linda Saucier<sup>2</sup>, Fadia Naïm<sup>1</sup>, Claude Leblanc<sup>1</sup>, Marcel Tanguay<sup>1</sup>, Martin Jutras<sup>1</sup>, Lamjed Sallami<sup>1</sup>, Blaise Ouattara<sup>1</sup>, Olivier Gervais<sup>1</sup>, Éric Choquette<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Centre de recherche et de développement sur les aliments, Agriculture et agroalimentaire Canada, 3600 boul. Casavant ouest, Saint-Hyacinthe, Québec, J2S 1E3.

<sup>2</sup>Département des sciences animales, Faculté des sciences de l'agriculture et de l'alimentation, Université Laval, Sainte-Foy, Québec, G1K 7P4.

### **ABSTRACT :**

Dans le cadre d'une étude sur le développement d'un logiciel pour l'établissement de cycles de cuisson-refroidissement, une procédure expérimentale a été établie pour la manipulation d'organismes pathogènes dans une usine pilote de confinement niveau 2 (BL-2). À travers une entente de collaboration avec le Conseil des viandes du Canada et un de ses membres, Olymel-Flamingo, nous avons procédé à la mesure des paramètres de destruction thermique (ex. valeurs de D et z) dans une émulsion fine de viande pour *Listeria monocytogenes* et *Salmonella typhi*. Les valeurs ont été comparées avec celles obtenues en milieu liquide (Cornell University). Les expérimentations ont été réalisées en triplicatas à une température variant de 50 à 70°C. Les valeurs de z obtenues étaient toutes inférieures à 10 min (4.98-8.32 min) pour tous les échantillons qu'ils soient en milieu liquide ou viande. Des échantillons de bolognes ont été inoculés avec ces microorganismes en utilisant des opérations qui ont imité un procédé industriel. Le cycle de cuisson-refroidissement utilisé a permis une réduction de 5 log pour chaque organisme. Cette présentation portera sur la procédure expérimentale et la méthode de calcul des valeurs de D et z pour la validation des procédés industriels dans une usine pilote BL-2.

## ***Continuous system of inactivating Salmonella Enteritidis in poultry chiller water by using ultraviolet irradiation***

L. S. Kassama, M. O. Ngadi and J. Smith

McGill University, 21111 Lakeshore, Ste Anne-de-Bellevue, H9X 3V9, Quebec.

### **Abstract**

*Salmonella* contamination is among the most significant problems causing food-borne disease in the poultry meat industry. High rate of cross-contamination in poultry carcasses occurs during processing, thus the chilling operation has been identified as direct input on the safety and quality of the finish product. The objective of this research project is to design and develop a micro-scale continuous and pulsed UV light system to adequately treat *Salmonella Enteritidis* in poultry chiller water and test the inactivating efficacies. Poultry chilled water sample was obtained from a local poultry processing plant. The samples were maintained at 4°C during transportation and storage. Plate count methods were used to enumerate the total microbial colonies before and after treatment. The *Salmonella Enteritidis* was grown overnight in Brain Heart Infusion broth at 35°C and cells were harvested by centrifuging the culture at 10,000 rpm for 10 min at 4° C and the supernatant was removed and the cells were resuspended in 25 mL of sterile distilled water twice to wash off the growth medium, centrifuge under the same condition. The clean cells were further suspended in 300 mL of sterile poultry chiller water. Germicidal UV lamps (continuous and pulsed) in the far UV-C spectrum (200 to 280 nm) were used to treat the samples. The results show significant microbial inactivation as result of high resident time for the continuous UV light system, while the combinations of high frequency and pulses gave the best results for the pulsed UV system.

## ***Natural antimicrobials in combination processing - a review of a new consumer friendly approach***

Padmini Thumula<sup>1</sup>, Cristina Ratti<sup>2</sup> and G.S. Vijaya Raghavan<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Bioresource Engineering Department,  
Macdonald Campus of McGill University, Ste-Anne-de-Bellevue, QC, H9X 3V9

<sup>2</sup>Dept. Sols et Génie Agroalimentaire, Université Laval, Ste-Foy, QC G1K 7P4

### **Abstract:**

The modern food industry is undergoing revolutionary changes due to growing consumers' demand for foods that are "fresh", non- or minimally- processed, "natural", yet easy to prepare, healthy and safe. This has led to renewed interest in the use of nature's own antimicrobials to preserve foods. To enhance the efficacy of natural antimicrobials, combinations with novel methods are promising. Synergistic/additive effects are being investigated in various combinations for different foods, as a multiple barrier system of preservation may be potentially fruitful. This multi-hurdle concept reinforces further the aggregate effect limiting microbial activity without adverse sensory changes in the food while ensuring food safety.

Such combinations now focus on non-thermal physical treatments for minimally processed foods like salads, marinated meat, sausages and fermented dairy products. Natural antimicrobials like nisin, bacteriocins and essential oils are effective in combinations such as thermal processing, high pressure processing, pulsed electric field, irradiation, modified atmosphere, vacuum packaging, edible coatings, low temperature storage, and hypobaric treatments. The application of biopreservatives like pediocin is promising in controlling the growth of *L. monocytogenes* in food systems. Interrupted pressure treatments enhanced the effectiveness of lysozyme and nisin, allowing a reduction by at least 6 logs of all strains at 400 MP. The use of marinating has synergistic effects with irradiation to reduce microorganism load. The essential oils in rosemary and thyme are mild anti-microbial agents that can slow the deterioration of stored foods by bacteria. Incorporation of essential oils in chitosan coatings can protect ready-to-eat food from pathogen and spoilage microorganisms. Applications also include surface decontamination, specially in meat, seafood, fresh horticultural produce and variety of processed foods. High hydrostatic pressure in combination with low pH, low temperature and biopreservatives has been found to offer a good choice to overcome browning and spoilage in high moisture fruit products. The advantage is not only preventing spoilage, but also preserving the sensory and nutritional quality of the food using less harsh treatments and preservative agents. This paper discusses some of the combinations that can attract both the food industry and the consumer.

## ***Phosphatase inactivation kinetics in milk under continuous flow microwave heating***

Manguang Lin<sup>1</sup> and H.S. Ramaswamy<sup>2</sup>

Department of Food Science and Agricultural Chemistry,  
Macdonald Campus, McGill University, Ste Anne de Bellevue, Quebec, H9X 3V9, Canada.

Manguang Lin<sup>1</sup> <mlin16@po-box.mcgill.ca >  
Hosahalli Ramaswamy<sup>2</sup> <hosahalli.ramaswamy@mcgill.ca>

**Address correspondence to: Dr. Hosahalli Ramaswamy**

### **ABSTRACT**

Microwave heating provides a better alternative to solve the fouling problem of heat exchanger surface inherent in conventional heat exchanger (plate/tubular). Continuous-flow microwave heating is a promising technique for milk pasteurization due to fast heating rate, high quality retention, non-fouling, uniform heating, energy saving opportunities, prevention of surface fouling and easy access to clean-up. Raw milk was subjected to conventional isothermal water bath heating, continuous flow microwave heating and continuous flow thermal holding in the pasteurization temperature range (60–75°C), and then immediately cooled in an ice-water bath. The associated alkaline phosphatase (ALP) residual activities were evaluated. The time-corrected D-values of ALP varied from 1250 s at 60°C to 1.7 s at 75°C with a z-value of 5.2°C under conventional batch heating conditions, 128 s at 65°C to 13.5 s at 70°C with a z-value of 5.2°C under continuous-flow thermal holding conditions, 17.6 s at 65 °C to 1.7 s at 70°C with a z-value of 4.9 °C under continuous-flow microwave heating conditions. D values associated ALP inactivation under microwave heating were therefore an order of magnitude lower than under conventional thermal heating. The results thus emphasized that ALP inactivation occurred much faster under microwave heating conditions than conventional heating thereby confirming the existence of enhanced thermal effects from microwave.

## ***Effect of ultra high pressure on the electrospray ionization mass spectroscopy (ESI-MS) profile of whey proteins***

Alvarez Pedro A.<sup>1</sup>, A.A. Ismail<sup>2</sup> and H.S. Ramaswamy<sup>3</sup>

Department of Food Science and Agricultural Chemistry,  
Macdonald Campus, McGill University, Ste-Anne- de-Bellevue, Quebec, H9X 3V9, Canada.

Alvarez Pedro A.<sup>1</sup>, <pedroalvarez@yahoo.com>

A.A. Ismail<sup>2</sup> <ashraf.ismail@mcgill.ca>

Hosahalli Ramaswamy<sup>3</sup> <hosahalli.ramaswamy@mcgill.ca>

**Address correspondence to: Dr. Hosahalli Ramaswamy**

### **ABSTRACT**

Milk whey is composed of many proteins among them  $\beta$ -lactoglobulin ( $\beta$ -lg),  $\alpha$ -lactalbumin ( $\alpha$ -lac), bovine serum albumin (BSA) and glycomacro peptides (GMP). High pressure processing (HPP) is an alternative to the conventional temperature process of food products. It offers the possibility of reduction of the microbial count and inactivation of spores without the loss of vitamin content, chemical reactions or changes in the organoleptic characteristics of the product. This paper studies the effects of different HP treatments on the tertiary structure of  $\beta$ -lg and  $\alpha$ -lac using electrospray ionization mass spectroscopy (ESI-MS). Protein-protein interactions after HP treatment in two brands of whey protein isolates (WPI) were studied using ESI-MS. HP exerts an influence on the tertiary structure of the protein molecules, revealed as differences in the charge-state-distribution (CSD) of whey protein solutions. Structural changes can be reversible or irreversible depending on the nature of the protein, its concentration, the presence or absence of other proteins, pressure level and holding time as well as the number of pressure cycles. The effect of holding time the magnitude of the applied hydrostatic pressure on the protein structure was found to be inversely proportional. The protein-protein interactions in WPI after subjected to HP treatment were different from one WPI brand to another; these differences are due mainly to discrepancies in production methodologies that generate variations in the concentration of GMP and the final pH of the WPI solutions.



